

特開平10-14899

(43)公開日 平成10年(1998)1月20日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
A 6 1 B 5/05			A 6 1 B 5/05	B

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 22 頁)

(21)出願番号 特願平8-176448

(22) 出願日 平成8年(1996)7月5日

(71)出願人 000002174

積水化学工業株式会社

大阪府大阪市北区西天満2丁目4番4号

(72) 発明者 久保田 康之

京都市南区上鳥羽上調子町 2-2 積水化学工業株式会社内

(72) 発明者 石井 徹哉

京都市南区上鳥羽上調子町2-2 積水化学工業株式会社内

(72) 發明者 栗脇 真史

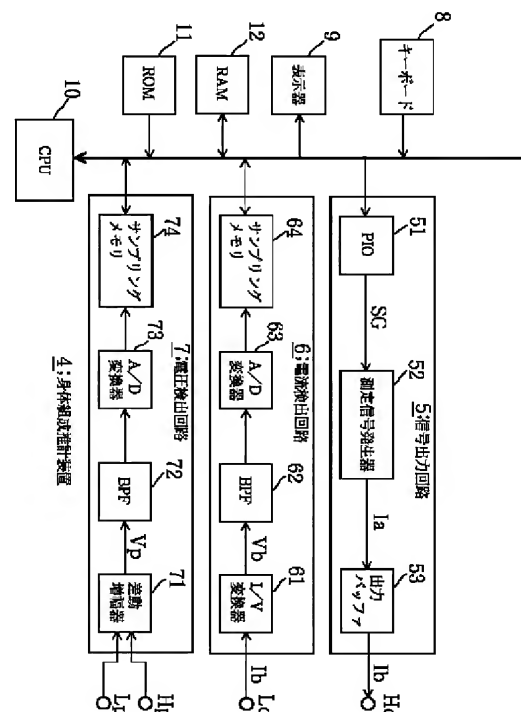
京都市南区上烏羽上調子町2-2 積水化学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 身体組成推計装置及び身体組成推計方法

(57) 【要約】

【課題】 体水分分布や体脂肪の状態や血液のヘマトクリット値等の身体組成の推計精度の向上を図る。

【解決手段】 信号出力回路５は、被験者の体にマルチ周波数電流 I_b を投入する。電流検出回路６は、被験者の体を流れるマルチ周波数電流 I_b を検出する。電圧検出回路７は、被験者の手足間の電圧 V_p を検出する。CPU 10は、検出された電流 I_b と電圧 V_p とに基づいて、生体電気インピーダンスを測定し、測定された生体電気インピーダンスに基づいて、被験者の体の細胞外液抵抗及び細胞内液抵抗を算出する。そして、算出された細胞外液抵抗及び／又は細胞内液抵抗に基づいて、被験者の体の細胞外液量、細胞内液量、体水分量、体脂肪率、マトクリット値等を推計し、推計結果を表示器９に表示する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 生体電気インピーダンス法に基づいて、被験者の体脂肪の状態又は体水分分布を推計する身体組成推計装置であって、マルチ周波のプロープ電流を生成し、生成した各周波のプロープ電流を前記被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定する生体電気インピーダンス測定手段と、該生体電気インピーダンス測定手段によって測定された前記電気インピーダンスに基づいて、前記被験者の体の細胞外液抵抗を算出する抵抗算出手段と、該抵抗算出手段によって算出された前記細胞外液抵抗に基づいて、前記被験者の体の細胞外液量を推計する体液推計手段とを備えてなることを特徴とする身体組成推計装置。

【請求項2】 生体電気インピーダンス法に基づいて、被験者の体脂肪の状態又は体水分分布を推計する身体組成推計装置であって、マルチ周波のプロープ電流を生成し、生成した各周波のプロープ電流を前記被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定する生体電気インピーダンス測定手段と、該生体電気インピーダンス測定手段によって測定された前記電気インピーダンスに基づいて、前記被験者の体の細胞外液抵抗又は細胞内液抵抗を算出する抵抗算出手段と、前記被験者の身長データを入力するための身長データ入力手段と、

$$TBW = a_1 H^2 Y_e + b_1 H^2 Y_i + c_1 \quad (1)$$

TBW：被験者の体液量

H：被験者の身長

Y_e ：細胞外液抵抗の逆数

Y_i ：細胞内液抵抗の逆数

a_1 , b_1 , c_1 ：定数

【請求項5】 マルチ周波のプロープ電流を生成し、生成した各周波のプロープ電流を被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定する生体電気インピーダンス測定手段と、該生体電気インピーダンス測定手段によって測定された

$$FAT = a_2 H^2 Y_e + b_2 H^2 Y_i + c_2 \quad (2)$$

FAT：被験者の体の脂肪重量

H：被験者の身長

Y_e ：細胞外液抵抗の逆数

Y_i ：細胞内液抵抗の逆数

a_2 , b_2 , c_2 ：定数

【請求項6】 マルチ周波のプロープ電流を生成し、生成した各周波のプロープ電流を被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定する生体電気インピーダンス測定手段と、該生体電気インピーダンス測定手段によって測定された

前記抵抗算出手段によって算出された前記被験者の体の細胞外液抵抗又は細胞内液抵抗と、前記身長データ入力手段から入力された前記被験者の身長データとに基づいて、前記被験者の体の細胞外液量、又は細胞内液量を推計する体液推計手段とを備えてなることを特徴とする身体組成推計装置。

【請求項3】 前記体液推計手段は、前記被験者の体の細胞外液量又は細胞内液量が、前記被験者の身長データの2乗に比例し、前記被験者の体の細胞外液抵抗又は細胞内液抵抗に反比例する関係として与えられる身体組成推計式を用いて、前記被験者の体の細胞外液量又は細胞内液量を推計することを特徴とする請求項2記載の身体組成推計装置。

【請求項4】 マルチ周波のプロープ電流を生成し、生成した各周波のプロープ電流を被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定する生体電気インピーダンス測定手段と、該生体電気インピーダンス測定手段によって測定された前記電気インピーダンスに基づいて、前記被験者の体の細胞外液抵抗及び細胞内液抵抗を算出する抵抗算出手段と、前記被験者の身長に関するデータを入力するための身長データ入力手段と、前記被験者の体液量が、式(1)によって与えられる身体組成推計式を用いて、前記被験者の体液量を推計する体液推計手段とを備えてなることを特徴とする身体組成推計装置。

【数1】

前記電気インピーダンスに基づいて、前記被験者の体の細胞外液抵抗及び細胞内液抵抗を算出する抵抗算出手段と、前記被験者の身長データを入力するための身長データ入力手段と、前記被験者の体の脂肪重量が、式(2)によって与えられる身体組成推計式を用いて、前記被験者の体の脂肪重量を推計する脂肪重量推計手段とを備えてなることを特徴とする身体組成推計装置。

【数2】

前記電気インピーダンスに基づいて、前記被験者の体の細胞外液抵抗及び細胞内液抵抗を算出する抵抗算出手段と、前記被験者の身長データを入力するための身長データ入力手段と、前記被験者の体の除脂肪重量が、式(3)によって与えられる身体組成推計式を用いて、前記被験者の体の除脂肪重量を推計する除脂肪重量推計手段とを備えてなることを特徴とする身体組成推計装置。

【数3】

$$LBM = a_3 H^2 Y_e + b_3 H^2 Y_i + c_3 \quad (3)$$

LBM: 被験者の体の除脂肪重量

H: 被験者の身長

Y_e : 細胞外液抵抗の逆数

Y_i : 細胞内液抵抗の逆数

a_3, b_3, c_3 : 定数

【請求項7】 マルチ周波のプローブ電流を生成し、生成した各周波のプローブ電流を被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定する生体電気インピーダンス測定手段と、

該生体電気インピーダンス測定手段によって測定された

$$Db = a_4 (W/H^2) Y_e + b_4 (W/H^2) Y_i + c_4 \quad (4)$$

Db: 被験者の体密度

W: 被験者の体重

H: 被験者の身長

Y_e : 細胞外液抵抗の逆数

Y_i : 細胞内液抵抗の逆数

a_4, b_4, c_4 : 定数

【請求項8】 マルチ周波のプローブ電流を生成し、生成した各周波のプローブ電流を被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定する生体電気インピーダンス測定手段と、

該生体電気インピーダンス測定手段によって測定された前記電気インピーダンスに基づいて、前記被験者の体の細胞外液抵抗を算出する抵抗算出手段と、

該抵抗算出手段によって算出された前記細胞外液抵抗に基づいて、前記被験者の血液のヘマトクリット値を推計するヘマトクリット値推計手段とを備えてなることを特徴とする身体組成推計装置。

【請求項9】 一般健常者の体の正常状態における細胞外液量、細胞内液量又は体液量を、正常細胞外液量、正常細胞内液量又は正常体液量として予め記憶する記憶手段と、

該記憶手段から読み出された前記正常細胞外液量、正常細胞内液量又は正常体液量と、前記体液推計手段によって推計された前記被験者の現在の細胞外液量、細胞内液量又は体液量との差分を演算する演算手段と、

該演算手段の演算結果に基づいて、前記被験者の細胞外液、細胞内液、又は体液の現在の状態を表示装置に表示させる表示制御手段とを付加してなることを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の身体組成推計装置。

【請求項10】 一般健常者の体の正常状態における細胞外液量、細胞内液量又は体液量の除脂肪重量に対する割合を、正常細胞外液量－除脂肪重量比、正常細胞内液量－除脂肪重量比又は正常体液量－除脂肪重量比として予め記憶する記憶手段と、

該記憶手段から読み出された前記正常細胞外液量－除脂肪重量比、正常細胞内液量－除脂肪重量比又は正常体液量－除脂肪重量比と、前記体液推計手段によって推計された前記被験者の現在の細胞外液量、細胞内液量又は体

前記電気インピーダンスに基づいて、前記被験者の体の細胞外液抵抗及び細胞内液抵抗を算出する抵抗算出手段と、

前記被験者の身長データ及び体重データを入力するための身長体重データ入力手段と、

前記被験者の体密度が、式(4)によって与えられる身体組成推計式を用いて、前記被験者の体密度を推計する体密度推計手段とを備えてなることを特徴とする身体組成推計装置。

【数4】

$$(4)$$

液量の当該被験者の体の除脂肪重量に対する割合である細胞外液量－除脂肪重量比、細胞内液量－除脂肪重量比又は体液量－除脂肪重量比との差分を演算する演算手段と、

該演算手段の演算結果に基づいて、前記被験者の細胞外液、細胞内液、又は体液の現在の状態を表示装置に表示させる表示制御手段とを付加してなることを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の身体組成推計装置。

【請求項11】 前記生体電気インピーダンス測定手段は、前記被験者の体に投入される前記プローブ電流の各周波毎に、該被験者の体の生体電気インピーダンス又は生体電気アドミッタンスを測定し、測定された各周波毎の前記生体電気インピーダンス又は生体電気アドミッタンスに基づいて、最小二乗法の演算手法を駆使して、インピーダンス軌跡又はアドミッタンス軌跡を求め、求められた該インピーダンス軌跡又はアドミッタンス軌跡から、前記被験者の体の周波数0時、又は周波数0時及び無限大時の生体電気インピーダンス又は生体電気アドミッタンスを算出すると共に、

前記抵抗算出手段は、前記生体電気インピーダンス測定手段によって算出された被験者の体の周波数0時、又は周波数0時及び無限大時の生体電気インピーダンス又は生体電気アドミッタンスに基づいて、前記被験者の体の細胞外液抵抗又は／及び細胞内液抵抗を算出することを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6、7、8、9又は10記載の身体組成推計装置。

【請求項12】 前記被験者の性別データを入力するための性別データ入力手段を備えてなり、前記体液推計手段、前記脂肪重量推計手段、前記除脂肪重量推計手段、前記体密度推計手段又は前記ヘマトクリット値推計手段は、前記性別データ入力手段から入力された前記被験者の性別データを加味して、前記被験者の体液、脂肪重量、除脂肪重量、体密度又はヘマトクリット値を推計することを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6、7、8、9、10又は11記載の身体組成推計装置。

【請求項13】 マルチ周波のプローブ電流を被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定し、

該測定により得られた電気インピーダンスに基づいて、前記被験者の体の細胞外液抵抗を算出し、該算出により得られた細胞外液抵抗に基づいて、前記被験者の体の細胞外液量を推計することを特徴とする身体組成推計方法。

【請求項14】 マルチ周波のプロープ電流を被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定し、該測定により得られた電気インピーダンスに基づいて、前記被験者の体の細胞外液抵抗又は細胞内液抵抗を算出し、該算出により得られた細胞外液抵抗又は細胞内液抵抗と、前記被験者の身長データとに基づいて、前記被験者の体の細胞外液量、又は細胞内液量を推計することを特徴とする身体組成推計方法。

【請求項15】 前記被験者の体の細胞外液量又は細胞内液量が、前記被験者の身長データの2乗に比例し、前記被験者の体の細胞外液抵抗又は細胞内液抵抗に反比例する関係として与えられる身体組成推計式を用いて、前記細胞外液量又は前記細胞内液量を推計することを特徴とする請求項14記載の身体組成推計方法。

【請求項16】 マルチ周波のプロープ電流を被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定し、該測定により得られた電気インピーダンスに基づいて、前記被験者の体の細胞外液抵抗を算出し、該算出により得られた細胞外液抵抗に基づいて、前記被験者の血液のヘマトクリット値を推計することを特徴とする身体組成推計方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、生体電気インピーダンス法に基づいて、被験者の体水分分布（細胞外液量、細胞内液量、体液量）等や体脂肪の状態（体脂肪率、脂肪重量、除脂肪重量等）や血液のヘマトクリット値を推計するための身体組成推計装置及び身体組成推計方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、人間や動物の身体組成を評価する目的で、生体の電気特性に関する研究が行われている。生体の電気特性は、組織又は臓器の種類によって著しく異なっており、例えば、ヒトの場合、血液の電気抵抗率は $150\Omega \cdot \text{cm}$ 前後であるのに対して、骨や脂肪の電気抵抗率は $1\sim 5\text{k}\Omega \cdot \text{cm}$ もある。この生体の電気特性は、生体電気インピーダンス (Bioelectric Impedance) と呼ばれ、生体の体表面に装着された複数の電極間に微小電流を流すことにより測定される。このようにして得られた生体電気インピーダンスから被験者の体水分分布（細胞外液量、細胞内液量、これらの総和たる体液量）等や、体脂肪の状態（体脂肪率、脂肪重量、除脂肪重量等）を推計する方法を生体電気インピーダンス (Bioelectric Impedance) 法という（「身体

組成の評価法としての生体電気インピーダンス法」, Baumgartner, R.N., etc. 著、「生体電気インピーダンスとその臨床応用」, 医用電子と生体工学, 金井寛著, 20(3) Jun 1982、「インピーダンス法による体肢の水分分布の推定とその応用」, 医用電子と生体工学, 波江野誠等著, 23(6) 1985、「インピーダンス法による膀胱内尿量の長時間計測」, 人間工学, 口ノ町康夫等著, 28(3) 1992 等参照）。

【0003】生体電気インピーダンスは、生体中のイオンによって搬送される電流に対する生体の抵抗（レジスタンス）と、細胞膜、組織界面、あるいは非イオン化組織によって作り出される様々な種類の分極プロセスと関連したリアクタンスとから構成される。リアクタンスの逆数である容量（キャパシタンス）は、電圧よりも電流に時間的遅れをもたらす、位相のズレ（フェーズシフト）を作り出すが、この値はレジスタンスに対するリアクタンスの比率の逆正接角（アークタンジェント）、すなわち、電気位相角として幾何学的に定量できる。これら生体電気インピーダンス Z 、リアクタンス X 及び電気位相角 ϕ は、周波数に依存している。

【0004】ここで、生体の組織を構成する細胞について言及すると、図15に示すように、細胞1, 1, ... は、細胞膜2, 2, ...によって取り囲まれてはいるが、細胞膜2, 2, ...は、電気的には容量（キャパシタンス）の大きなコンデンサと見ることができる。したがって、生体電気インピーダンスは、図16に示すように、細胞外液抵抗 $1/Y_e$ のみからなる細胞外液インピーダンスと、細胞内液抵抗 $1/Y_i$ と細胞膜容量 C_m との直列接続からなる細胞内液インピーダンスとの並列合成インピーダンスと考えることができる。そこで、上記生体電気インピーダンス法を用いて被験者の体水分分布や体脂肪の状態を推計する従来の身体組成推計装置では、手足の表面電極間に流すべき正弦波交流電流の周波数を、電気位相角 ϕ が最大になる時の周波数（特性周波数）である略50kHzに固定し、被験者の生体電気インピーダンスを測定して、細胞外液インピーダンスと細胞内液インピーダンスとの並列合成インピーダンスを得、得られた並列合成インピーダンスに基づいて、被験者の体水分分布や体脂肪の状態を推計していた。ところで、生体の組織は、容量成分を含む電氣的等価回路で表されるとは言え、体液測定装置の推計精度を高めるためには、測定される生体電気インピーダンスは、純粋に抵抗（レジスタンス）でなければならない。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、生体電気インピーダンス (Bioelectric Impedance) 法を利用する上記従来の身体組成推計装置にあっては、いずれも、手足の表面電極間に流すべき正弦波交流電流の周波数を特性周波数である略50kHzに固定していたため、測定される生体電気インピーダンスは、同図に示す

ように、細胞膜の容量成分を含むこととなり、また、細胞外液抵抗と細胞内液インピーダンスとの並列合成インピーダンスとしてしか測定されないので、このことが、体水分分布や体脂肪の状態の推計値の精度向上を阻む要因となっていた。

【0006】この発明は、上述の事情に鑑みてなされたもので、体水分分布や体脂肪の状態や血液のヘマトクリット値の推計精度の向上を図ることのできる身体組成推計装置及び身体組成推計方法を提供することを目的としている。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、請求項1記載の身体組成推計装置は、生体電気インピーダンス法に基づいて、被験者の体脂肪の状態又は体水分分布を推計する身体組成推計装置であって、マルチ周波のプロープ電流を生成し、生成した各周波のプロープ電流を上記被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定する生体電気インピーダンス測定手段と、該生体電気インピーダンス測定手段によって測定された上記電気インピーダンスに基づいて、上記被験者の体の細胞外液抵抗を算出する抵抗算出手段と、該抵抗算出手段によって算出された上記細胞外液抵抗に基づいて、上記被験者の体の細胞外液量を推計する体液推計手段とを備えてなることを特徴としている。

【0008】また、請求項2記載の身体組成推計装置は、生体電気インピーダンス法に基づいて、被験者の体脂肪の状態又は体水分分布を推計する身体組成推計装置であって、マルチ周波のプロープ電流を生成し、生成した各周波のプロープ電流を上記被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定する生体電気インピーダンス測定手段と、該生体電気インピーダンス測

$$TBW = a_1 H^2 Y_e + b_1 H^2 Y_i + c_1$$

TBW：被験者の体液量

H：被験者の身長

Y_e ：細胞外液抵抗の逆数

Y_i ：細胞内液抵抗の逆数

a_1 , b_1 , c_1 ：定数

【0011】また、請求項5記載の発明に係る身体組成推計装置は、マルチ周波のプロープ電流を生成し、生成した各周波のプロープ電流を被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定する生体電気イン

$$FAT = a_2 H^2 Y_e + b_2 H^2 Y_i + c_2$$

FAT：被験者の体の脂肪重量

H：被験者の身長

Y_e ：細胞外液抵抗の逆数

Y_i ：細胞内液抵抗の逆数

a_2 , b_2 , c_2 ：定数

【0012】また、請求項6記載の発明に係る身体組成推計装置は、マルチ周波のプロープ電流を生成し、生成した各周波のプロープ電流を被験者の体に投入して該被

定手段によって測定された上記電気インピーダンスに基づいて、上記被験者の体の細胞外液抵抗又は細胞内液抵抗を算出する抵抗算出手段と、上記被験者の身長データを入力するための身長データ入力手段と、上記抵抗算出手段によって算出された上記被験者の体の細胞外液抵抗又は細胞内液抵抗と、上記身長データ入力手段から入力された上記被験者の身長データとに基づいて、上記被験者の体の細胞外液量、又は細胞内液量を推計する体液推計手段とを備えてなることを特徴としている。

【0009】また、請求項3記載の身体組成推計装置は、請求項2記載の身体組成推計装置であって、上記体液推計手段は、上記被験者の体の細胞外液量又は細胞内液量が、上記被験者の身長データの2乗に比例し、上記被験者の体の細胞外液抵抗又は細胞内液抵抗に反比例する関係として与えられる身体組成推計式を用いて、上記被験者の体の細胞外液量又は細胞内液量を推計することとを特徴としている。

【0010】また、請求項4記載の発明に係る身体組成推計装置は、マルチ周波のプロープ電流を生成し、生成した各周波のプロープ電流を被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定する生体電気インピーダンス測定手段と、該生体電気インピーダンス測定手段によって測定された上記電気インピーダンスに基づいて、上記被験者の体の細胞外液抵抗及び細胞内液抵抗を算出する抵抗算出手段と、上記被験者の身長に関するデータを入力するための身長データ入力手段と、上記被験者の体液量が、式(1)によって与えられる身体組成推計式を用いて、上記被験者の体液量を推計する体液推計手段とを備えてなることを特徴としている。

【数5】

(1)

ピーダンス測定手段と、生体電気インピーダンス測定手段によって測定された上記電気インピーダンスに基づいて、上記被験者の体の細胞外液抵抗及び細胞内液抵抗を算出する抵抗算出手段と、上記被験者の身長データを入力するための身長データ入力手段と、上記被験者の体の脂肪重量が、式(2)によって与えられる身体組成推計式を用いて、上記被験者の体の脂肪重量を推計する脂肪重量推計手段とを備えてなることを特徴としている。

【数6】

(2)

験者の体の電気インピーダンスを測定する生体電気インピーダンス測定手段と、該生体電気インピーダンス測定手段によって測定された上記電気インピーダンスに基づいて、上記被験者の体の細胞外液抵抗及び細胞内液抵抗を算出する抵抗算出手段と、上記被験者の身長データを入力するための身長データ入力手段と、上記被験者の体の除脂肪重量が、式(3)によって与えられる身体組成推計式を用いて、上記被験者の体の除脂肪重量を推計す

る除脂肪重量推計手段とを備えてなることを特徴としている。

$$LBM = a_3 H^2 Y_e + b_3 H^2 Y_i + c_3$$

LBM: 被験者の体の除脂肪重量

H: 被験者の身長

Y_e : 細胞外液抵抗の逆数

Y_i : 細胞内液抵抗の逆数

a_3, b_3, c_3 : 定数

【0013】また、請求項7記載の発明に係る身体組成推計装置は、マルチ周波のプロープ電流を生成し、生成した各周波のプロープ電流を被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定する生体電気インピーダンス測定手段と、該生体電気インピーダンス測定

$$Db = a_4 (W/H^2) Y_e + b_4 (W/H^2) Y_i + c_4$$

Db: 被験者の体密度

W: 被験者の体重

H: 被験者の身長

Y_e : 細胞外液抵抗の逆数

Y_i : 細胞内液抵抗の逆数

a_4, b_4, c_4 : 定数

【0014】また、請求項8記載の発明に係る身体組成推計装置は、マルチ周波のプロープ電流を生成し、生成した各周波のプロープ電流を被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定する生体電気インピーダンス測定手段と、該生体電気インピーダンス測定手段によって測定された上記電気インピーダンスに基づいて、上記被験者の体の細胞外液抵抗を算出する抵抗算出手段と、該抵抗算出手段によって算出された上記細胞外液抵抗に基づいて、上記被験者の血液のヘマトクリット値を推計するヘマトクリット値推計手段とを備えてなることを特徴としている。

【0015】また、請求項9記載の身体組成推計装置は、請求項1, 2, 3又は4記載の身体組成推計装置であって、一般健常者の体の正常状態における細胞外液量、細胞内液量又は体液量を、正常細胞外液量、正常細胞内液量又は正常体液量として予め記憶する記憶手段と、該記憶手段から読み出された上記正常細胞外液量、正常細胞内液量又は正常体液量と、上記体液推計手段によって推計された上記被験者の現在の細胞外液量、細胞内液量又は体液量との差分を演算する演算手段と、該演算手段の演算結果に基づいて、上記被験者の細胞外液、細胞内液、又は体液の現在の状態を表示装置に表示させる表示制御手段とを付加してなることを特徴としている。

【0016】また、請求項10記載の身体組成推計装置は、請求項1, 2, 3又は4記載の身体組成推計装置であって、一般健常者の体の正常状態における細胞外液量、細胞内液量又は体液量の除脂肪重量に対する割合を、正常細胞外液量－除脂肪重量比、正常細胞内液量－除脂肪重量比又は正常体液量－除脂肪重量比として予め

【数7】

(3)

手段によって測定された上記電気インピーダンスに基づいて、上記被験者の体の細胞外液抵抗及び細胞内液抵抗を算出する抵抗算出手段と、上記被験者の身長データ及び体重データを入力するための身長体重データ入力手段と、上記被験者の体密度が、式(4)によって与えられる身体組成推計式を用いて、上記被験者の体密度を推計する体密度推計手段とを備えてなることを特徴としている。

【数8】

(4)

記憶する記憶手段と、該記憶手段から読み出された上記正常細胞外液量－除脂肪重量比、正常細胞内液量－除脂肪重量比又は正常体液量－除脂肪重量比と、上記体液推計手段によって推計された上記被験者の現在の細胞外液量、細胞内液量又は体液量の当該被験者の体の除脂肪重量に対する割合である細胞外液量－除脂肪重量比、細胞内液量－除脂肪重量比又は体液量－除脂肪重量比との差分を演算する演算手段と、該演算手段の演算結果に基づいて、上記被験者の細胞外液、細胞内液、又は体液の現在の状態を表示装置に表示させる表示制御手段とを付加してなることを特徴としている。

【0017】また、請求項11記載の身体組成推計装置は、請求項1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9又は10記載の身体組成推計装置であって、上記生体電気インピーダンス測定手段は、上記被験者の体に投入される上記プロープ電流の各周波毎に、該被験者の体の生体電気インピーダンス又は生体電気アドミッタンスを測定し、測定された各周波毎の上記生体電気インピーダンス又は生体電気アドミッタンスに基づいて、最小二乗法の演算手法を駆使して、インピーダンス軌跡又はアドミッタンス軌跡を求め、求められた該インピーダンス軌跡又はアドミッタンス軌跡から、上記被験者の体の周波数0時、又は周波数0時及び無限大時の生体電気インピーダンス又は生体電気アドミッタンスを算出すると共に、上記抵抗算出手段は、上記生体電気インピーダンス測定手段によって算出された被験者の体の周波数0時、又は周波数0時及び無限大時の生体電気インピーダンス又は生体電気アドミッタンスに基づいて、上記被験者の体の細胞外液抵抗又は/及び細胞内液抵抗を算出することを特徴としている。

【0018】また、請求項12記載の身体組成推計装置は、請求項1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10又は11記載の身体組成推計装置であって、上記被験者の性別データを入力するための性別データ入力手段を備えてなり、上記体液推計手段、上記脂肪重量推計手段、上記除脂肪重量推計手段、上記体密度推計手段又は上記

ヘマトクリット値推計手段は、上記性別データ入力手段から入力された上記被験者の性別データを加味して、上記被験者の体液、脂肪重量、除脂肪重量、体密度又はヘマトクリット値を推計することを特徴としている。

【0019】また、請求項13記載の発明に係る身体組成推計方法は、マルチ周波のプロープ電流を被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定し、該測定により得られた電気インピーダンスに基づいて、上記被験者の体の細胞外液抵抗を算出し、該算出により得られた細胞外液抵抗に基づいて、上記被験者の体の細胞外液量を推計することを特徴としている。

【0020】また、請求項14記載の発明に係る身体組成推計方法は、マルチ周波のプロープ電流を被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定し、該測定により得られた電気インピーダンスに基づいて、上記被験者の体の細胞外液抵抗又は細胞内液抵抗を算出し、該算出により得られた細胞外液抵抗又は細胞内液抵抗と、上記被験者の身長データとに基づいて、上記被験者の体の細胞外液量、又は細胞内液量を推計することを特徴としている。

【0021】また、請求項15記載の身体組成推計方法は、請求項14記載の身体組成推計方法であって、上記被験者の体の細胞外液量又は細胞内液量が、上記被験者の身長データの2乗に比例し、上記被験者の体の細胞外液抵抗又は細胞内液抵抗に反比例する関係として与えられる身体組成推計式を用いて、上記細胞外液量又は上記細胞内液量を推計することを特徴としている。

【0022】さらにまた、請求項16記載の発明に係る身体組成推計方法は、マルチ周波のプロープ電流を被験者の体に投入して該被験者の体の電気インピーダンスを測定し、該測定により得られた電気インピーダンスに基づいて、上記被験者の体の細胞外液抵抗を算出し、該算出により得られた細胞外液抵抗に基づいて、上記被験者の血液のヘマトクリット値を推計することを特徴としている。

【0023】

【作用】この発明の構成において、生体電気インピーダンス測定手段は、マルチ周波のプロープ電流を生成し、生成した各周波のプロープ電流を被験者の体に投入して

$$V_e = H S_e$$

【0026】

$$V_i = H S_i$$

【0027】また、細胞外液抵抗 $1/Y_e$ 及び細胞内液抵抗 $1/Y_i$ は、それぞれ、式(7)、式(8)によって与えられる。

$$1/Y_e = \rho_e H / S_e$$

ρ_e ：被験者の細胞外液の抵抗率

【0029】

$$1/Y_i = \rho_i H / S_i$$

ρ_i ：被験者の細胞内液の抵抗率

被験者の体の電気インピーダンスを測定する。また、抵抗算出手段は、生体電気インピーダンス測定手段によって測定された被験者の体の電気インピーダンスに基づいて、被験者の生体組織の細胞外液抵抗や細胞内液抵抗を求める。そして、求められた細胞外液抵抗や細胞内液抵抗に基づいて、請求項1、2、3又は4記載の構成では、体液推計手段は、被験者の細胞外液量等の体水分分布を推計し、また、請求項5記載の構成では、脂肪重量推計手段は、被験者の体の脂肪重量を推計し、また、請求項6記載の構成では、除脂肪重量推計手段は、被験者の体の除脂肪重量を推計し、また、請求項7記載の構成では、体密度推計手段は、被験者の体の体密度を推計し、また、請求項8記載の構成では、ヘマトクリット値推計手段は、被験者の体のヘマトクリット値を推計する。それ故、この発明の構成によれば、細胞外液抵抗と細胞内液抵抗とは、互いに分離された状態で、かつ、細胞膜の容量成分が除かれて、正確に求められ、求められた細胞外液抵抗や細胞内液抵抗に基づいて、一段と実情に即した正確な細胞外液量等の体水分分布や、脂肪重量等の体脂肪の状態や、体密度や、ヘマトクリット値に関する推計値を簡便に得ることができる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、この発明の実施の形態について説明する。説明は、実施例を用いて具体的にを行う。

◇前提説明

この発明の実施例装置及び方法では、後述する各種の身体組成推計式が利用される。そこで、まず、これらの推計式が導出された経緯について説明する。最初に、細胞外液量 V_e 、細胞内液量 V_i 及び体水分量 TBW 等の推計式の導出方法について述べる。透析の際の除水による被験者の細胞外液量 V_e 及び細胞内液量 V_i の変化を考える上で、簡単のために、人体を円柱に例えてみる。図12に示すような円柱モデルにおいて、被験者の細胞外液量 V_e の占める断面積 S_e 、細胞内液量 V_i の占める断面積 S_i 、身長 H との間には、式(5)及び式(6)に示す関係がある。

【0025】

【数9】

$$\dots (5)$$

【数10】

$$\dots (6)$$

【0028】

【数11】

$$\dots (7)$$

【数12】

$$\dots (8)$$

【0030】したがって、式(5)及び式(7)より式

(9)が、式(6)及び式(8)より式(10)が導き出される。

$$V_e = \rho_e H^2 Y_e$$

【0032】

$$V_i = \rho_i H^2 Y_i$$

【0033】したがって、細胞外液の抵抗率 ρ_e 、細胞内液の抵抗率 ρ_i には、個人差がないと考え、細胞外液抵抗 $1/Y_e$ 、細胞内液抵抗 $1/Y_i$ は、それぞれ、細胞外液量 V_e 、細胞内液量 V_i を示す指標であると考えることができる。ここで、被験者の除脂肪重量LBM

$$\begin{aligned} LBM &= V_e + V_i + c_1 \\ &= \rho_e H^2 Y_e + \rho_i H^2 Y_i + c_3 \end{aligned} \quad \dots (11)$$

【0035】そこで、多数の被験者について、身長Hを測定し、かつ、細胞外液抵抗 $1/Y_e$ 及び細胞内液抵抗 $1/Y_i$ を、後に詳述するような方法によって測定し、一方、除脂肪重量LBMについては、例えば、DXA等のX線を用いる方法によって精密に測定して、これらの結果から重回帰分析によって、式(11)の回帰定数である、 ρ_e 、 ρ_i 及び定数 c_3 の値を求めた。この結果、 $\rho_e = 0.3077 [kg \Omega / cm^2]$ 、 $\rho_i = 0.86$

$$LBM = 0.3077 H^2 Y_e + 0.8630 H^2 Y_i + 8.964 \quad \dots (12)$$

【0037】なお、式(12)に従って、生体電気インピーダンス法(BIA)によって求められた除脂肪重量LBM(BIA)と、DXAによって求めた除脂肪重量LBM(DXA)との間の相関関係を調べたところ、図13に示すように、高い相関が認められた。また、式(12)の第1項、第2項はそれぞれ、細胞外液量 $V_e [k$

$$V_e = 0.3077 H^2 Y_e$$

【0039】

$$V_i = 0.8630 H^2 Y_i$$

【0040】また、体水分量TBW[kg]は、細胞外液量 V_e と細胞内液量 V_i との和であるので、式(15)によって与えられる。

$$\begin{aligned} TBW &= V_e + V_i \\ &= 0.3077 H^2 Y_e + 0.8630 H^2 Y_i \end{aligned} \quad \dots (15)$$

【0042】次に、被験者の血液のヘマトクリット値Hctの推定式の導出方法について述べる。ヘマトクリット値Hctは、全血量のうち血球の占める割合を体積%で表したものであり、通常は、採血を行って測定する。この出願に係る発明者らが、多数の被験者について、透析の期間中に採血によってヘマトクリット値Hctを調べ、かつ、同時に細胞外液抵抗 $1/Y_e$ を測定したとこ

$$Hct = -12640 Y_e + 49.45 \quad \dots (16)$$

【0044】なお、この式(16)によって表される回帰直線は、図14に示すような直線となる。この後、細胞外液抵抗の逆数 Y_e と、同時に採血によって測定したヘマトクリット値Hctとの関係を複数プロットしたところ、同図に示すような結果が得られた。

【0045】◇第1実施例

【0031】

【数13】

…(9)

【数14】

…(10)

は、細胞外液と細胞内液とその他の部分(骨組織等)とからなっているとすると、除脂肪重量LBMは、式(11)で与えられると考えられる。

【0034】

【数15】

$30 [kg \Omega / cm^2]$ 、 $c_3 = 8.964 [kg]$ と定められた。したがって、除脂肪重量LBM[kg]は、身長H[cm]、細胞外液抵抗の逆数 $Y_e [S]$ 及び細胞内液抵抗の逆数 $Y_i [S]$ を用いて、式(12)によって与えられる。

【0036】

【数16】

g]、細胞内液量 $V_i [kg]$ を表すので、細胞外液量 V_e 、細胞内液量 V_i は、それぞれ、式(13)、式(14)によって与えられる。

【0038】

【数17】

…(13)

【数18】

…(14)

【0041】

【数19】

ろ、ヘマトクリット値Hct[%]と細胞外液抵抗の逆数 $Y_e [S]$ との間に非常に高い相関が確認された。すなわち、重回帰分析により、ヘマトクリット値Hct[%]は、細胞外液抵抗の逆数 $Y_e [S]$ を用いて、式(16)により与えられることがわかった。

【0043】

【数20】

図1は、この発明の第1実施例である身体組成推計装置の電気的構成を示すブロック図、図2は、同装置の使用状態を模式的に示す模式図、図3は、人体のインピーダンス軌跡を示す図、図4は、組織内細胞の電気的等価回路図、図5は、周波数無限大時の組織内細胞の電気的等価回路図、図6は、同装置の動作処理手順を示すフロー

チャート、図7は、同装置における表示器の表示例を示す図、図8は、同動作を説明するためのタイミングチャート、また、図9は、同装置における表示器の別の表示例を示す図である。この例の身体組成推計装置4は、被験者の体水分分布（細胞外液量、細胞内液量、体水分量）や体脂肪率等を測定し、測定結果を表示する装置に係り、図1及び図2に示すように、被験者の体Eに測定信号としてマルチ周波数電流I_bを流すための信号出力回路5と、被験者の体Eを流れるマルチ周波数電流I_bを検出するための電流検出回路6と、被験者の手足間の電圧V_pを検出するための電圧検出回路7と、体水分分布測定モード又は体脂肪測定モードを選択するモード選択キーを有した入力装置としてのキーボード8と、出力装置としての表示器9と、各種制御・各種演算処理を行うCPU（中央処理装置）10と、CPU10の処理プログラムを記憶するROM11と、各種データを一時記憶するデータ領域及びCPU10の作業領域が設定されるRAM12と、測定時に被験者の手甲部H_aや足甲部L_eの皮膚表面に導電可能に貼り付けられる4個の表面電極H_p、H_c、L_p、L_cとから概略構成されている。

【0046】まず、上記キーボード8は、被験者の身長、測定時間等を入力するためのテンキーや機能キー、体水分分布測定モード又は体脂肪測定モードを選択するモード選択キー、及び操作者（又は被験者）が測定開始／測定終了を指示するための開始／終了スイッチ等を有して構成されている。キーボード8から供給される操作データ及び身長データは、図示せぬキーコード発生回路でキーコードに変換されてCPU10に供給される。CPU10は、コード入力された各種操作信号及び身長データをRAM12のデータ領域に一時記憶する。また、体水分分布測定モードにおいては、全測定時間T_w、測定間隔 τ 、及び後述する測定信号I_aの掃引回数（繰返し回数）Nが入力され、全測定時間T_wは、例えば、透析をモニターするのに十分な時間を考慮して、4.5時間、5時間、5.5時間、6時間、6.5時間、7時間の中から、また、測定間隔 τ は、10分、20分、30分の中から任意に選択できるようになっている。これにより、全測定時間T_wの間、被験者の体水分分布（細胞外液量、細胞内液量、体水分量）の経時変化が測定される。このように、与えられたいくつかの時間の中から選択する代わりに、操作者が、キーボード8を用いて自由に時間T_w、 τ を設定できるようにしても良い。また、体脂肪測定モードにおいては、全測定期間T_f及び掃引回数Nが入力される。

【0047】上記信号出力回路5は、PIO（パラレル・インタフェース）51、測定信号発生器52及び出力バッファ53から構成されている。測定信号発生器52は、所定の掃引周期で、PIO51を介してCPU10から信号発生指示信号SGが供給されると、周波数が、例えば1kHz～400kHzの範囲で、かつ、15k

Hzの周波数間隔で段階変化する測定信号（電流）I_aを、所定の掃引回数Nに亘って、繰返し生成して、出力バッファ53に入力する。出力バッファ53は、入力される測定信号I_aを定電流状態に保ちながら、マルチ周波数電流I_bとして表面電極H_cに送出する。この表面電極H_cは、測定時、被験者の手甲部H_aに導電可能に貼り付けられ、これにより、500～800 μ Aの範囲にあるマルチ周波数電流I_bが被験者の体Eを流れることになる。なお、体水分分布測定モードにおいては、信号発生指示信号SGの供給周期は、操作者がキーボード8を用いて設定した測定間隔 τ に一致する。

【0048】上記電流検出回路6は、I/V変換器（電流／電圧変換器）61、BPF（バンドパスフィルタ）62、A/D変換器63及びサンプリングメモリ64から概略構成されている。I/V変換器61は、被験者の体E、すなわち被験者の手甲部H_a（図2）に貼り付けられた表面電極H_cと足甲部L_eに貼り付けられた表面電極L_cとの間を流れるマルチ周波数電流I_bを検出して電圧V_bに変換し、変換により得られた電圧V_bをBPF62に供給する。BPF62は、入力された電圧V_bのうち、略1kHz～800kHzの帯域の電圧信号のみを通して、A/D変換器63に供給する。A/D変換器63は、CPU10が発行するデジタル変換指示に従って、アナログの入力電圧V_bをデジタルの電圧信号V_bに変換した後、デジタル化された電圧信号V_bを電圧データV_bとして、サンプリング周期毎、測定信号I_aの周波数毎にサンプリングメモリ64に格納する。また、サンプリングメモリ64は、SRAMから構成され、測定信号I_aの周波数毎に一時格納されたデジタルの電圧信号V_bを、CPU10の求めに応じて、CPU10に送出する。

【0049】電圧検出回路7は、差動増幅器71、BPF（バンドパスフィルタ）72、A/D変換器73及びサンプリングメモリ74から構成されている。差動増幅器71は、被験者の体E、すなわち被験者の手甲部H_aに貼り付けられた表面電極H_pと足甲部L_eに貼り付けられた表面電極L_pとの間の電圧（電位差）を検出する。BPF72は、入力された電圧V_pのうち、略1kHz～800kHzの帯域の電圧信号のみを通して、A/D変換器73に供給する。A/D変換器73は、CPU10が発行するデジタル変換指示に従って、アナログの入力電圧V_pをデジタルの電圧信号V_pに変換した後、デジタル化された電圧信号V_pを電圧データV_pとして、サンプリング周期毎、測定信号I_aの周波数毎にサンプリングメモリ74に格納する。また、サンプリングメモリ74は、SRAMから構成され、測定信号I_aの周波数毎に一時格納されたデジタルの電圧信号V_pを、CPU10の求めに応じて、CPU10に送出する。なお、CPU10は、2つのA/D変換器63、73に対して同一のタイミングでデジタル変換指示を行

う。

【0050】ROM11は、CPU10の処理プログラムとして、主プログラムの他、例えば、生体電気インピーダンス算出サブプログラム、インピーダンス軌跡算出サブプログラム、周波数0時インピーダンス決定サブプログラム、周波数無限大時インピーダンス決定サブプログラム、細胞内液抵抗算出サブプログラム、細胞外液量推計サブプログラム、細胞内液量推計サブプログラム、体水分量推計サブプログラム、除脂肪重量推計サブプログラム、細胞外液量－除脂肪重量比算出サブプログラム、細胞内液量－除脂肪重量比算出サブプログラム、体水分量－除脂肪重量比算出サブプログラム、細胞外液量偏差算出サブプログラム、細胞内液量偏差算出サブプログラム、体水分量偏差算出サブプログラム、脂肪重量推計サブプログラム、体脂肪率推計サブプログラム等を格納する。また、ROM11には、予め統計的に処理された一般健常者の体の正常状態における細胞外液量、細胞内液量及び体液量を、それぞれ除脂肪重量で除した数値が、正常細胞外液量－除脂肪重量比、正常細胞内液量－除脂肪重量比及び正常体液量－除脂肪重量比としてそれぞれ予め設定登録されている。

【0051】ここで、生体電気インピーダンス算出サブプログラムには、サンプリングメモリ64, 74に記憶された周波数毎の電流データ及び電圧データを順次読み出して、各周波数についての被験者の生体電気インピーダンスを算出する手順が記載されている。「従来の技術」欄で説明したように、細胞膜2, 2, …は、容量の大きなコンデンサとみることができ、外部から印加された電流は、周波数の低いときには、図15に実線A, A, …で示すように、細胞外液3のみを流れる。しかし、周波数が高くなるにつれて、細胞膜2, 2, …を通して流れる電流が増え、周波数が非常に高くなると、同図に破線B, B, …で示すように、細胞1, 1, …内を通して流れるようになる。

【0052】インピーダンス軌跡算出サブプログラムには、生体電気インピーダンス算出サブプログラムの稼働により得られた各周波数についての被験者の生体電気インピーダンスに基づいて、最小二乗法の演算手法に従って、周波数0から周波数無限大までのインピーダンス軌跡を算出する処理手順が書き込まれている。「従来の技術」欄では、人体の組織内細胞を単純な電氣的等価回路（図16）で表したが、実際の人体の組織では、いろいろな大きさの細胞が不規則に配置されているので、実際の人体のインピーダンス軌跡は、図3に実線Dで示すように、中心が実軸より上がった円弧となり、電氣的等価回路は、図4に示すように、時定数 $\tau = Cmk/Yik$ が分布している分布定数回路で表される。なお、同図において、 $1/Ye$ は細胞外液抵抗、 $1/Yik$ は各細胞の細胞内液抵抗、 Cmk は各細胞の細胞膜容量を示す。

【0053】周波数0時インピーダンス決定サブプログ

ラム、周波数無限大時インピーダンス決定サブプログラムには、それぞれ、インピーダンス軌跡算出サブプログラムの稼働により得られたインピーダンス軌跡に基づいて、それぞれ、周波数0時、無限大時の被験者の生体電気インピーダンスを決定する手法が手順を追って書き込まれている。細胞内液抵抗算出サブプログラムには、周波数0時インピーダンス決定サブプログラム及び周波数無限大時インピーダンス決定サブプログラムの稼働により得られた両インピーダンスに基づいて、細胞内液抵抗を算出する算出式が記述されている。周波数0では、測定される生体電気インピーダンスは、細胞外液抵抗と等価となるので、周波数0時インピーダンス決定サブプログラムにおいて得られたインピーダンスが求めるべき細胞外液抵抗となる。また、周波数無限大では、図3に示すように、細胞膜が容量性能力を失い、測定される生体電気インピーダンスは、細胞内液抵抗と細胞外液抵抗との合成抵抗と等価（図5）になる。したがって、周波数0時及び無限大時の生体電気インピーダンスから、細胞内液抵抗が正確に算出される。

【0054】また、細胞外液量推計サブプログラムには、周波数0時インピーダンス決定サブプログラムの稼働により得られた細胞外液抵抗と、キーボード8を介して入力された被験者の身長とに基づいて、被験者の細胞外液量を推計する手順が記述されている。この細胞外液量推計サブプログラムには、求められた細胞外液抵抗 $1/Ye$ と被験者の身長 H とに基づいて、上述した式（13）を内容とする細胞外液量の算出手順が書き込まれている。ここで、式（13）は、 (H, Ye) に関する細胞外液量 Ve の回帰式であり、多数の被験者について予め標本調査を実施した結果得られたものである。

【0055】また、細胞内液量推計サブプログラムには、細胞内液抵抗算出サブプログラムの稼働により得られた細胞内液抵抗と、キーボード8を介して入力された被験者の身長とに基づいて、被験者の細胞内液量を推計する手順が記述されている。この細胞内液量推計サブプログラムには、求められた細胞内液抵抗 $1/Yi$ と被験者の身長 H とに基づいて、上述した式（14）を内容とする細胞内液量の算出手順が書き込まれている。ここで、式（14）も、 (H, Yi) に関する細胞内液量 Vi の回帰式であり、多数の被験者について予め標本調査を実施した結果得られたものである。

【0056】また、体水分量推計サブプログラムには、細胞外液量推計サブプログラムによって得られた被験者の細胞外液量と、細胞内液量推計サブプログラムによって得られた被験者の細胞内液量との和を求めることによって、体液量を算出する手順が記述されている。すなわち、体水分量 TBW は、上述した式（15）によって与えられる。

【0057】また、除脂肪重量推計サブプログラムには、周波数0時インピーダンス決定サブプログラムによ

り得られた細胞外液抵抗と、細胞内液抵抗算出サブプログラムにより得られた細胞内液抵抗と、キーボード8を介して入力された被験者の身長とに基づいて、被験者の除脂肪重量LBMを推計する手順が記述されている。この除脂肪重量推計サブプログラムには、求められた細胞外液抵抗 $1/Y_e$ 及び細胞内液抵抗 $1/Y_i$ 並びに被験者の身長Hとに基づいて、上述した式(12)を内容とする細胞内液量の算出手順が書き込まれている。ここで、式(12)は、(H, Y_i)と(H, Y_i)とに関する除脂肪重量LBMの重回帰式であり、多数の被験者について予め標本調査を実施した結果得られたものである。

【0058】細胞外液量－除脂肪重量比算出サブプログラムには、細胞外液量推計サブプログラムにより得られた細胞外液量 V_e と除脂肪重量推計サブプログラムにより得られた除脂肪重量LBMとに基づいて、すなわち、式(12)及び式(13)より、細胞外液量－除脂肪重量比(V_e/LBM)を算出する。同様に、細胞内液量－除脂肪重量比算出サブプログラムには、式(1

$$\Delta V_e = LBM \{ (V_e/LBM) - (V_{es}/LBM_s) \} \quad \dots (17)$$

【0060】同様に、細胞内液量偏差算出サブプログラムには、被験者の細胞内液量－除脂肪重量比(V_i/LBM)と正常細胞内液量－除脂肪重量比(V_{is}/LBM_s)との差である細胞内液量－除脂肪重量比偏差 $\Delta(V_i/LBM)$ に基づいて現在の細胞内液量偏差 ΔV_i を、体水分量偏差算出サブプログラムには、被験者の体水分量－除脂肪重量比(TBW/LBM)と正常体水分量－除脂肪重量比(TBW_s/LBM_s)との差である体

$$\Delta V_i = LBM \{ (V_i/LBM) - (V_{is}/LBM_s) \} \quad \dots (18)$$

【0062】

$$\Delta TBW = LBM \{ (TBW/LBM) - (TBW_s/LBM_s) \}$$

…(19)

【0063】また、脂肪重量推計サブプログラムには、周波数0時インピーダンス決定サブプログラムにより得られた細胞外液抵抗と、細胞内液抵抗算出サブプログラムにより得られた細胞内液抵抗と、キーボード8を介して入力された被験者の身長とに基づいて、被験者の脂肪重量FATを推計する手順が記述されている。この脂肪重量推計サブプログラムには、求められた細胞外液抵抗 $1/Y_e$ 及び細胞内液抵抗 $1/Y_i$ 並びに被験者の身長H

$$FAT = a_2 H^2 Y_e + b_2 H^2 Y_i + c_2 \quad \dots (20)$$

【0065】ここで、細胞外液抵抗の逆数 Y_e 、細胞内液抵抗の逆数 Y_i 、身長Hは、それぞれ、[S]、[S]、[cm]で表現される。また、 a_2 、 b_2 は帰係数であり、単位は共に、[kgΩ/cm²]、また、 c_2 は定数であり、単位は[kg]である。

【0066】また、体脂肪率推計サブプログラムには、除脂肪重量推計サブプログラムにより得られた除脂肪重

$$\%FAT = 100FAT / (FAT + LBM) \quad \dots (21)$$

【0068】RAM12のデータ領域には、さらに、生体電気インピーダンス算出サブプログラム等により得ら

2)及び式(14)より、体水分量－除脂肪重量比算出サブプログラムには、式(12)及び式(15)より、それぞれ、細胞内液量－除脂肪重量比(V_i/LBM)、体水分量－除脂肪重量比(TBW/LBM)を算出するための手順が記述されている。また、細胞外液量偏差算出サブプログラムには、細胞外液量－除脂肪重量比算出サブプログラムにより得られた、被験者の細胞外液量－除脂肪重量比(V_e/LBM)と、ROM11に予め設定登録されている正常細胞外液量－除脂肪重量比(V_{es}/LBM_s)とに基づいて、両者の差である細胞外液量－除脂肪重量比偏差 $\Delta(V_e/LBM)$ を算出し、さらに、この細胞外液量－除脂肪重量比偏差 $\Delta(V_e/LBM)$ に基づいて、被験者の現在の細胞外液量偏差 ΔV_e を求める手順が記述されている。すなわち、細胞外液量偏差 ΔV_e は、式(17)によって与えられる。

【0059】

【数21】

水分量－除脂肪重量比偏差 $\Delta(TBW/LBM)$ に基づいて体水分量偏差 ΔTBW をそれぞれ算出する手順が記述されている。すなわち、細胞内液量偏差 ΔV_i 、体水分量偏差 ΔTBW は、それぞれ、式(18)、式(19)によって与えられる。

【0061】

【数22】

【数23】

とに基づいて、式(20)を内容とする細胞内液量の算出手順が書き込まれている。ここで、式(20)は、(H, Y_i)と(H, Y_i)とに関する脂肪重量FATの重回帰式であり、多数の被験者について予め標本調査を実施した結果得られたものである。

【0064】

【数24】

量LBMと、脂肪重量推計サブプログラムにより得られた脂肪重量FATに基づいて、被験者の体脂肪率%FATを算出する手順が記述されている。すなわち、式(12)及び式(20)より、体脂肪率%FATは式(21)によって与えられる。

【0067】

【数25】

れた被験者の生体電気インピーダンスを周波数毎に格納する生体電気インピーダンス記憶領域と、細胞内液抵抗

算出サブプログラムにより得られた細胞内液抵抗等を格納する抵抗値記憶領域と、キーボード8を介して入力された被験者の身長データ等を格納する身長データ記憶領域と、細胞外液量推計サブプログラムにより得られた細胞外液量等の数値を格納する体液記憶領域と、体脂肪率推計サブプログラムにより得られた体脂肪率等の数値を記憶する体脂肪記憶領域等が設定される。

【0069】CPU10は、装置各部を制御する他、ROM11に記憶された処理プログラムをRAM12を用いて順次実行することにより、被験者の体水分分布（細胞外液量、細胞内液量、体液量等）や体脂肪率等を推計する。表示器9は、例えば、カラー表示が可能な液晶表示パネルからなり、キーボード8からの入力データやCPU10の演算結果、例えば、細胞外液量－除脂肪重量比、細胞内液量－除脂肪重量比、体水分量－除脂肪重量比に関するトレンドグラフや、細胞外液量偏差、細胞内液量偏差、体水分量偏差、体脂肪率、インピーダンス軌跡、細胞外液抵抗、細胞内液抵抗、被験者の身長等を表示する。

【0070】次に、この例の動作について説明する。まず、測定に先だって、図2に示すように、2個の表面電極Hc、Hpを被験者の手甲部Haに、2個の表面電極Lp、Lcを被験者の同じ側の足甲部Leにそれぞれ導電クリームを介して貼り付ける（このとき、表面電極Hc、Lcを、表面電極Hp、Lpよりも人体の中心から遠い部位に取り付ける）。上記構成の身体組成推計装置4を、例えば、透析時のモニタとして用いる場合には、操作者（又は被験者自身）が身体組成推計装置4のキーボード8を操作して、モード設定キーを操作して、体水分分布測定モードを設定し、さらに、被験者の身長を入力すると共に、測定開始から測定終了までの全測定時間Twや測定間隔等t（図8）や掃引回数Nを設定する。この例では、全測定時間Twは、透析をモニターするのに十分な時間を考慮して、7時間が選択され、また、測定間隔tは、30分が選択されたとする。キーボード8から入力されたデータ及び設定値は、RAM12に記憶される。

【0071】次に、操作者（又は被験者自身）が、透析開始の時刻に合わせてキーボード8の開始／終了スイッチをオンにすると、これより、CPU10は、図6に示す処理の流れに従って、動作を開始する。まず、ステップSP10において、CPU10は、信号出力回路5の測定信号発生器52に、信号発生指示信号SGを発行する。測定信号発生器52は、CPU10から信号発生指示信号SGを受け取ると、駆動を開始して、全測定時間の間、所定の掃引周期で、周波数が、1kHz～400kHzの範囲で、かつ、15kHzの周波数間隔で段階変化する測定信号Iaを繰り返し生成して、出力バッファ53に入力する。出力バッファ53は、入力される測定信号Iaを定電流状態（500～800μAに範囲の

一定値）に保ちながら、マルチ周波数電流Ibとして表面電極Hcに送出する。これにより、定電流のマルチ周波数電流Ibが、表面電極Hcから被験者の体Eを流れ、測定が開始される。

【0072】マルチ周波数電流Ibが被験者の体Eに供給されると、電流検出回路6のI/V変換器61において、表面電極Hc、Lcが貼り付けられた手足間を流れるマルチ周波数電流Ibが検出され、アナログの電圧信号Vbに変換された後、BPF62に供給される。BPF62では、入力された電圧信号Vbの中から1kHz～800kHzの帯域の電圧信号成分のみが通過を許されて、A/D変換器63へ供給される。A/D変換器63では、供給されたアナログの電圧信号Vbが、デジタルの電圧信号Vbに変換され、電流データVbとして、所定のサンプリング周期毎、測定信号Iaの周波数毎にサンプリングメモリ64に格納される。サンプリングメモリ64では、格納されたデジタルの電圧信号VbがCPU10の求めに応じて、CPU10に送出される。一方、電圧検出回路7の差動増幅器71において、表面電極Hp、Lpが貼り付けられた手足間で生じた電圧Vpが検出され、BPF72に供給される。BPF72では、入力された電圧信号Vpの中から1kHz～800kHzの帯域の電圧信号成分のみが通過を許されて、A/D変換器73へ供給される。A/D変換器73では、供給されたアナログの電圧信号Vpが、デジタルの電圧信号Vpに変換され、電圧データVpとして、所定のサンプリング周期毎、測定信号Iaの周波数毎にサンプリングメモリ74に格納される。サンプリングメモリ74では、格納されたデジタルの電圧信号VpがCPU10の求めに応じて、CPU10に送出される。CPU10は、プローブ電流Iaの掃引回数が、指定された掃引回数N繰り返す。

【0073】そして、掃引回数が指定の回数になると、CPU10は、測定を停止する制御を行った後、ステップSP11へ進み、これより、まず、生体電気インピーダンス算出サブプログラムを起動して、両サンプリングメモリ64、74に格納された周波数毎の電流データ及び電圧データを順次読み出して、各周波数についての被験者の生体電気インピーダンス（掃引回数N回の平均値）を算出する。なお、生体電気インピーダンスの算出には、その成分（抵抗及びリアクタンス）の算出も含まれる。次に、CPU10は、インピーダンス軌跡算出サブプログラムを起動して、生体電気インピーダンス算出サブプログラムにより得られた各周波数についての被験者の生体電気インピーダンス及びその成分（抵抗及びリアクタンス）に基づいて、最小二乗法を用いるカーブフィッティングの手法に従って、周波数0から周波数無限大までのインピーダンス軌跡を算出する。このようにして算出されたインピーダンス軌跡は、図9（a）、

（b）に示すように、中心が実軸より上がった円弧とな

る。

【0074】次に、CPU10は、周波数0時インピーダンス決定サブプログラム及び周波数無限大時インピーダンス決定サブプログラムに従って、インピーダンス軌跡算出サブプログラムにより得られたインピーダンス軌跡に基づいて、それぞれ、周波数0時及び無限大時の被験者の生体電気インピーダンスを求める。つまり、インピーダンス軌跡の円弧が、図中X軸と交わる点が、それぞれ周波数0Hzと無限大の時の生体電気インピーダンスになる。ここで、周波数0Hz時の生体電気インピーダンスが、求める細胞外液抵抗となる。次に、CPU10は、細胞内液抵抗算出サブプログラムに従って、周波数0時インピーダンス決定サブプログラム及び周波数無限大時インピーダンス決定サブプログラムにより得られた両インピーダンスに基づいて、細胞内液抵抗を算出する。

【0075】(a) 体水分分布測定モード時
次にステップSP12へ進み、CPU10は、モード設定フラグを見て現在のモードが体水分分布測定モードであるか体脂肪測定モードであるかを調べる。いまは、操作者（又は被験者自身）によって、体水分分布測定モードが設定されているので、CPU10は、ステップSP13へ進み、まず、細胞外液量推計サブプログラムを起動する。CPU10は、細胞外液量推計サブプログラムの処理手順に従って、周波数0時インピーダンス決定サブプログラムの稼働により得られた細胞外液抵抗と、キーボード8を介して入力された被験者の身長とを、式(13)に代入することによって、被験者の細胞外液量を推計する。また、CPU10は、細胞内液量推計サブプログラムの処理手順に従って、細胞内液抵抗算出サブプログラムの稼働により得られた細胞内液抵抗と、キーボード8を介して入力された被験者の身長とを、式(14)に代入して、被験者の細胞内液量を推計する。そして、CPU10は、体液量推計サブプログラムの処理手順に従って、細胞外液量推計サブプログラムによって得られた被験者の細胞外液量と、細胞内液量推計サブプログラムによって得られた被験者の細胞内液量とを、式(15)に代入して、体水分量を推計する。

【0076】次に、CPU10は、除脂肪重量推計サブプログラムの処理手順に従って、周波数0時インピーダンス決定サブプログラムにより得られた細胞外液抵抗 $1/Y_e$ と、細胞内液抵抗算出サブプログラムにより得られた細胞内液抵抗 $1/Y_i$ と、キーボード8を介して入力された被験者の身長 H とを、式(12)に代入して、被験者の除脂肪重量 LBM を推計する。そして、CPU10は、細胞外液量－除脂肪重量比算出サブプログラムに従って、細胞外液量推計サブプログラムにより得られた細胞外液量 Ve と除脂肪重量推計サブプログラムにより得られた除脂肪重量 LBM とに基づいて、細胞外液量－除脂肪重量比 (Ve/LBM) を算出する。また、細

胞内液量－除脂肪重量比算出サブプログラム、体水分量－除脂肪重量比算出サブプログラムに従って、それぞれ、細胞内液量－除脂肪重量比 (Vi/LBM) 、体水分量－除脂肪重量比 (TBW/LBM) を算出する。

【0077】次に、CPU10は、細胞外液量偏差算出サブプログラムに従って、細胞外液量－除脂肪重量比算出サブプログラムにより得られた、被験者の細胞外液量－除脂肪重量比 (Ve/LBM) と、ROM11に予め設定登録されている正常細胞外液量－除脂肪重量比 $(Ves/LBMs)$ と、除脂肪重量比算出サブプログラムにより得られた被験者の除脂肪重量 LBM とを、式(17)に代入して、被験者の現在の細胞外液量偏差 ΔVe を求める。また、CPU10は、細胞内液量偏差算出サブプログラムに従って、被験者の細胞内液量－除脂肪重量比 (Vi/LBM) と、正常細胞内液量－除脂肪重量比 $(Vis/LBMs)$ と、除脂肪重量 LBM とを、式(18)に代入して、被験者の現在の細胞内液量偏差 ΔVi を求め、体水分量偏差算出サブプログラムに従って、被験者の体水分量－除脂肪重量比 (TBW/LBM) と、正常体水分量－除脂肪重量比 $(TBWs/LBMs)$ と、除脂肪重量 LBM とを、式(19)に代入して、被験者の現在の体水分量偏差 ΔTBW を求める。

【0078】そして、CPU10は、算出された被験者の体水分分布等（細胞外液量、細胞内液量、体水分量、除脂肪重量、細胞外液量－除脂肪重量比、細胞内液量－除脂肪重量比、体水分量－除脂肪重量比、細胞外液量偏差、細胞内液量偏差、体水分量偏差等）を測定時点における数値としてRAM12に記憶すると共に、ステップSP14へ進み、図7に示すように、表示器9を制御して、細胞外液量－除脂肪重量比、細胞内液量－除脂肪重量比、体水分量－除脂肪重量比の値が表示器9に表示されたトレンドグラフ（この例では、透折開始からの経過時間を横軸とし、細胞外液量－除脂肪重量比、細胞内液量－除脂肪重量比、体水分量－除脂肪重量比の各値を縦軸とする折れ線グラフ）上にプロットされるようにし、また、細胞外液量偏差、細胞内液量偏差、体水分量偏差、細胞外液量、細胞内液量、体水分量、除脂肪重量を現在のデータとしてこれらの数値を表示器9に表示させる。なお、例えば、細胞外液量に関するデータは赤色で、細胞内液量に関するデータは青色で、体水分量に関するデータは緑色でそれぞれ色分けして表示させるようにする。

【0079】この後、ステップSP15へ進み、CPU10は、全測定時間 T_w （図8）が経過したか否かを判断する。この判断において、全測定時間 T_w （この例では、7時間）が経過したとの結論が得られれば、以後の測定処理を終了するが、いま、最初の測定が終了したばかりなので、全測定時間 T_w がいまだ経過していないと判断され、ステップSP16へ進み、測定間隔に相当する時間 t （同図）が経過するのを待つ。なお、この待ち

時間の間も、表示器9のトレンドグラフ画面は、表示されている。そして、測定間隔に相当する時間 t （この例では、30分）が経過すると、ステップSP10へ戻り、2回目の測定を開始する。そして、上述の処理を、全測定時間 T_w が経過するまで、すなわち、透析終了時まで繰り返す。

【0080】(b) 体脂肪測定モード時

次に、体脂肪率の測定を希望する場合には、まず、測定に先だって、操作者（又は被験者自身）が身体組成推計装置4のキーボード8を操作して、モード設定キーを操作して、体脂肪測定モードを設定し、さらに、被験者の身長を入力すると共に、全測定時間 T_f 、及び掃引回数 N を設定する。次に、キーボード8の開始／終了スイッチを押下すると、これより、CPU10は、上述した測定演算処理（ステップSP10及びステップSP11）を実行する。そして、ステップSP12へ進み、CPU10は、モード設定フラグを見て、現在のモードが体水分分布測定モードであるか体脂肪測定モードであるかを調べる。今度は、体脂肪測定モードが選択されているので、ステップSP17へ進み、CPU10は、除脂肪重量推計サブプログラムを起動する。

【0081】CPU10は、除脂肪重量推計サブプログラムの処理手順に従って、周波数0時インピーダンス決定サブプログラムにより得られた細胞外液抵抗 $1/Y_e$ と、細胞内液抵抗算出サブプログラムにより得られた細胞内液抵抗 $1/Y_i$ と、キーボード8を介して入力された被験者の身長 H とを、式(12)に代入して、被験者の除脂肪重量 L_{BM} を推計する。次に、CPU10は、脂肪重量推計サブプログラムに従って、周波数0時インピーダンス決定サブプログラムにより得られた細胞外液抵抗 $1/Y_e$ と、細胞内液抵抗算出サブプログラムにより得られた細胞内液抵抗 $1/Y_i$ と、キーボード8を介して入力された被験者の身長 H とを式(20)に代入して、被験者の脂肪重量 FAT を推計する。そして、CPU10は、体脂肪率推計サブプログラムに従って、除脂肪重量推計サブプログラムにより得られた除脂肪重量 L_{BM} と、脂肪重量推計サブプログラムにより得られた脂肪重量 FAT を式(21)に代入して、体脂肪率 $\%FAT$ を算出する。

【0082】最後に、CPU10は、算出された被験者の体脂肪率等をRAM12に記憶すると共に、ステップSP18において、図9に示すように、被験者の体脂肪率、インピーダンス軌跡、細胞外液抵抗、被験者の身長等を表示器9に表示させる。そして、当該一連の処理を終了する。

【0083】このように、上記構成によれば、生体の抵抗を細胞外液抵抗と細胞内液抵抗とに分けて求めることができ、しかも、細胞膜の容量成分を含まない状態で、正確に求めることができ、この算出結果に基づいて、細胞外液量、細胞内液量、体液量、体脂肪率等について、

一段と実情に近い推計を簡便に行うことができる。また、細胞外液量等に関する推計値を得るために必要な人体特徴データは、身長データ入力手段から入力される身長データのみで事足り、例えば、被験者が成人であれば、体重等のように特に変動する量ではないために、特に改めて測定を要しない場合が多いので、測定を一段と迅速かつ簡便に行うことができる。また、例えば、透析の際の除水によって体重が変動して、測定値の信頼性が低下するような事態を防ぐことができる。また、インピーダンス軌跡算出サブプログラムにより、最小二乗法の演算手法を駆使して、インピーダンス軌跡を求め、求められた軌跡から、周波数0時及び無限大時の生体電気インピーダンスを求め、求められた生体電気インピーダンスに基づいて、細胞外液抵抗及び細胞内液抵抗を算出するので、高周波投入時の浮遊容量や外来ノイズの影響を回避でき、また、人体への直流の直接投入を回避できる。それ故、測定精度が向上する。また、体水分分布測定モードにおいて、細胞外液量－除脂肪重量比、細胞内液量－除脂肪重量比、体液量－除脂肪重量比の現在の値が、表示器9においてトレンド表示され、かつ、被験者の現在の細胞外液量、細胞内液量、体液量の正常状態からの差が表示されるので、例えば、透析の際に除水量を、細胞外液、細胞内液のそれぞれについて、最適に制御することができる。また、この際、被験者の体格の差異の影響を補正する必要はない。

【0084】◇第2実施例

図10は、この発明の第2実施例である身体組成推計装置の動作処理手順を示すフローチャートである。この第2実施例の身体組成推計装置が、上述の第1実施例と大きく異なるところは、第1実施例の身体組成推計装置においては、体水分分布測定モード及び体脂肪測定モードの2つの測定モードの選択が可能な構成であるのに対して、さらに、被験者の血液のヘマトクリット値を測定するためのヘマトクリット値測定モードが付加された構成とした点である。また、これに伴って、ROM11には、CPU10がヘマトクリット値を算出するために必要な手順が記述されたヘマトクリット値算出サブプログラムが格納されている。また、キーボード8のモード選択キーからは、体水分分布測定モード、体脂肪測定モード及びヘマトクリット値測定モードの3つの測定モードの選択が可能なように構成されている。なお、これ以外の点では、第1実施例と略同一の構成（図1）であるので、この第2実施例においても、同図を用いて説明する。

【0085】ヘマトクリット値算出サブプログラムには、周波数0時インピーダンス決定サブプログラムにより得られた細胞外液抵抗 $1/Y_e$ に基づいて、被験者の血液のヘマトクリット値を推計する手順が記述されている。すなわち、上述した式(16)を内容とするヘマトクリット値 Hct の算出手順が書き込まれている。ここ

で、式(16)は、細胞外液抵抗の逆数 Y_e に関するヘマトクリット値 Hct の回帰式であり、多数の被験者について予め標本調査を実施した結果得られたものである。

【0086】次に、図10を参照して、この例の動作について説明する。この例の処理の流れは、ステップSP10からステップSP12まで、及び体水分分布を測定するステップSP13からステップSP16までの処理は、第1実施例で述べたと略同様であるので、その説明を省略する。次に、ヘマトクリット値 Hct の測定を希望する場合には、まず、測定に先だて、操作者(又は被験者自身)が身体組成推計装置4のキーボード8を操作して、モード設定キーを操作して、ヘマトクリット値測定モードを設定し、さらに、全測定時間 Th 、及び掃引回数 N を設定する。次に、キーボード8の開始/終了スイッチを押下すると、これより、CPU10は、上述した測定演算処理(ステップSP10及びステップSP11)を実行する。そして、ステップSP12へ進み、CPU10は、モード設定フラグを見て、現在のモードが体水分分布測定モードであるか否かを調べる。ここでは、体水分分布測定モードは選択されていないので、ステップSP201へ進み、CPU10は、再びモード設定フラグを見て、現在のモードが体脂肪測定モードであるかヘマトクリット値測定モードであるかを調べる。今度は、ヘマトクリット値測定モードが選択されているので、ステップSP202へ進み、CPU10は、ヘマトクリット値算出サブプログラムを起動する。

【0087】CPU10は、ヘマトクリット値算出サブプログラムの処理手順に従って、周波数0時インピーダンス決定サブプログラムにより得られた細胞外液抵抗 $1/Y_e$ を式(16)に代入して被験者の血液のヘマトクリット値 Hct を推計する。そして、CPU10は、算出された被験者の血液のヘマトクリット値 Hct をRAM12に記憶すると共に、ステップSP202において、被験者の血液のヘマトクリット値 Hct 等を表示器9に表示させる。

$$Db = a_4 (W/H^2) Y_e + b_4 (W/H^2) Y_i + c_4 \quad \dots (22)$$

【0092】ここで、体密度 Db 、細胞外液抵抗の逆数 Y_e 、細胞内液抵抗の逆数 Y_i 、身長 H 、体重 W は、それぞれ、 $[g/cc]$ 、 $[S]$ 、 $[S]$ 、 $[cm]$ 、 $[kg]$ で表現される。また、 a_4 、 b_4 は回帰係数であり、単位は共に、 $[m\Omega/cm]$ 、また、 c_4 は定数であり、単位は $[g/cc]$ である。

【0093】また、体脂肪率推計サブプログラムには、体密度算出サブプログラムによって得られた被験者の体

$$\%FAT = 100 \cdot (4.570/Db - 4.142) \quad \dots (23)$$

【0095】また、脂肪重量推計サブプログラムには、体脂肪率推計サブプログラムによって求められた被験者の体密度 Db と、キーボード8を介して入力された被験者の体重 W に基づいて、脂肪重量 FAT を推計する計算

【0088】上記構成によれば、上述した第1実施例の効果に加えて、被験者の血液のヘマトクリット値を、採血することなく、簡単かつ正確に求めることができる。それ故、例えば、貧血の診断等を簡単かつ手軽に行うことができる。

【0089】◇第3実施例

図11は、この発明の第3実施例である身体組成推計装置の動作処理手順を示すフローチャートである。この第3実施例の身体組成推計装置が、上述の第1実施例の身体組成推計装置と大きく異なるところは、第1実施例と異なる体水分分布及び体脂肪の算出のアルゴリズムが採用される点である。すなわち、この例の身体組成推計装置は、細胞外液抵抗 $1/Y_e$ 及び細胞外液抵抗 $1/Y_e$ を求めた後、一旦、これらの抵抗値に基づいて被験者の体密度 Db を求め、この体密度 Db に基づいて、体水分分布のうちの体水分量及び体脂肪の算出を行うよう構成されている。また、これに伴い、キーボード8からは、被験者の身長 H と共に体重 W も入力され、これら、身長 H 、体重 W 、細胞外液抵抗 $1/Y_e$ 及び細胞外液抵抗 $1/Y_e$ に基づいて、被験者の体密度 Db が求められる。また、ROM11には、CPU10が被験者の体密度を算出するために必要な手順が記述された体密度算出サブプログラムが格納されている。

【0090】体密度算出サブプログラムには、周波数0時インピーダンス決定サブプログラムにより得られた細胞外液抵抗 $1/Y_e$ 及び細胞内液抵抗算出サブプログラムにより得られた細胞内液抵抗 $1/Y_i$ 、並びにキーボード8を介して入力された被験者の身長 H 及び体重 W に基づいて、被験者の体密度 Db を推計する手順が記述されている。すなわち、式(22)を内容とする体密度 Db の算出手順が書き込まれている。ここで、式(22)は、 (H, W, Y_e) と (H, W, Y_i) とに関する被験者の体密度 Db の重回帰式であり、多数の被験者について予め標本調査を実施した結果得られたものである。

【0091】

【数26】

密度 Db に基づいて、体脂肪率 FAT を算出するための算出式が記述されている。すなわち、式(23)を内容とする体密度 Db の算出手順が書き込まれている。ここで、式(23)は、従来から用いられている体脂肪率 $\%FAT$ の計算式である。

【0094】

【数27】

式が記述されている。すなわち、式(24)を内容とする脂肪重量 FAT の算出手順が書き込まれている。

【0096】

【数28】

$$FAT = W \cdot \%FAT / 100$$

【0097】また、除脂肪重量推計サブプログラムには、脂肪重量推計サブプログラムによって求められた被験者の脂肪重量FATと、キーボード8を介して入力された被験者の体重Wに基づいて、除脂肪重量LBMを推計する計算式が記述されている。すなわち、式(25)

$$LBM = W - FAT$$

【0099】また、体水分量推計サブプログラムには、除脂肪重量推計サブプログラムによって求められた被験者の除脂肪重量LBMに基づいて、体水分量TBWを推計する計算式が記述されている。すなわち、式(26)

$$TBW = 0.732 \cdot LBM$$

【0101】なお、この例では、体水分量TBWは式(26)によって、算出されるが、細胞外液量 V_e 及び細胞内液量 V_i は、第1実施例の場合と同様に、式(13)、式(14)によって算出される。また、細胞外液量－除脂肪重量比算出サブプログラムには、細胞外液量推計サブプログラムにより得られた細胞外液量 V_e と除脂肪重量推計サブプログラムにより得られた除脂肪重量LBMとに基づいて、すなわち、式(13)及び式(25)より、細胞外液量－除脂肪重量比(V_e/LBM)を算出する算出式が記述されている。同様に、細胞内液量－除脂肪重量比算出サブプログラムには式(14)及び式(25)より、体水分量－除脂肪重量比算出サブプログラムは式(25)及び式(26)より、それぞれ、細胞内液量－除脂肪重量比(V_i/LBM)、体水分量－除脂肪重量比(TBW/LBM)を算出する算出式が記述されている。また、細胞外液量偏差算出サブプログラムには、細胞外液量－除脂肪重量比算出サブプログラムにより得られた、被験者の細胞外液量－除脂肪重量比(V_e/LBM)と、ROM11に予め設定登録されている正常細胞外液量－除脂肪重量比(V_{es}/LBM_s)とに基づいて、両者の差である細胞外液量－除脂肪重量比偏差 $\Delta(V_e/LBM)$ を算出し、さらに、この細胞外液量－除脂肪重量比偏差 $\Delta(V_e/LBM)$ に基づいて、被験者の現在の細胞外液量偏差 ΔV_e を求める算出式が記述されている。この細胞外液量偏差 ΔV_e の算出式は、第1実施例で用いた式(17)と同一の算出式となる。同様に、細胞内液量偏差算出サブプログラムには、被験者の細胞内液量－除脂肪重量比(V_i/LBM)と正常細胞内液量－除脂肪重量比(V_{is}/LBM_s)との差である細胞内液量－除脂肪重量比偏差 $\Delta(V_i/LBM)$ に基づいて現在の細胞内液量偏差 ΔV_i を、体水分量偏差算出サブプログラムは、被験者の体水分量－除脂肪重量比(TBW/LBM)と正常体水分量－除脂肪重量比(TBW_s/LBM_s)との差である体水分量－除脂肪重量比偏差 $\Delta(TBW/LBM)$ に基づいて体水分量偏差 ΔTBW をそれぞれ算出する算出式が記述されている。細胞内液量偏差 ΔV_i 、体水分量偏差 ΔTBW

$$\dots (24)$$

を内容とする除脂肪重量LBMの算出手順が書き込まれている。

【0098】

【数29】

$$\dots (25)$$

いる。ここで、式(26)は、従来から用いられている体水分量TBWの計算式である。

【0100】

【数30】

$$\dots (26)$$

Wの算出式も、それぞれ、第1実施例で用いた式(18)、式(19)と同一となる。

【0102】次に、図11を参照して、この例の動作について説明する。CPU10は、ステップSP11において、細胞外液抵抗 $1/Y_e$ 及び細胞内液抵抗 $1/Y_i$ を計算した後ステップSP301へ進み、体密度算出サブプログラムを起動する。そして、体密度算出サブプログラムの処理手順に従って、算出された細胞外液抵抗 $1/Y_e$ 及び細胞内液抵抗 $1/Y_i$ 、並びにキーボード8から入力された被験者の身長H及び体重Wを式(22)に代入して体密度 D_b を求める。

【0103】次に、CPU10は、ステップSP12へ進み、体水分分布測定モードの時は、ステップSP13へ進む。ここで、CPU10は、まず、細胞外液量 V_e 及び細胞内液量 V_i を、それぞれ、式(13)、式(14)によって算出する。そして、ステップSP301において算出した被験者の体密度 D_b に基づいて、式(23)により体脂肪率 $\%FAT$ を求め、さらに、式(24)によって脂肪重量FATを、式(25)によって除脂肪重量LBMをそれぞれ求めた後、式(26)によって、体水分量TBWを算出する。また、CPU10は、式(13)及び式(25)によって細胞外液量－除脂肪重量比(V_e/LBM)を、式(14)及び式(25)によって細胞内液量－除脂肪重量比(V_i/LBM)を、式(25)及び式(26)によって体水分量－除脂肪重量比(TBW/LBM)をそれぞれ算出する。次に、CPU10は、式(17)によって細胞外液量偏差 ΔV_e を、式(18)によって細胞内液量偏差 ΔV_i を、式(19)によって体水分量偏差 ΔTBW をそれぞれ算出する。そして、ステップSP14へ進み、CPU10は、表示器9を制御して、細胞外液量－除脂肪重量比、細胞内液量－除脂肪重量比、体水分量－除脂肪重量比の値が表示器9の画面上にプロットされ、トレンドグラフとして表示されるようにする。また、細胞外液量偏差、細胞内液量偏差、体水分量偏差、細胞外液量、細胞内液量、体水分量、除脂肪重量を現在のデータとしてこれらの数値を表示器9に表示させる。

【0104】ステップSP12において、体脂肪測定モードであった時は、ステップSP17へ進み、CPU10は、ステップSP301において算出した被験者の体密度 D_b に基づいて、式(23)により体脂肪率 $\%FAT$ を算出する。そして、CPU10は、算出された被験者の体脂肪率等をRAM12に記憶し、さらにステップSP18において、図9に示すように、被験者の体脂肪率、インピーダンス軌跡、細胞外液抵抗、被験者の身長等を表示器9に表示させる。

【0105】このように、上記構成によれば、生体の抵抗を細胞外液抵抗と細胞内液抵抗とに分けて求めることができ、しかも、細胞膜の容量成分を含まない状態で、正確に求めることができ、この算出結果に基づいて、細胞外液量、細胞内液量、体液量、体脂肪率等について、一段と実情に近い推計を簡便に行うことができる。また、求められた細胞外液抵抗及び細胞内液抵抗に基づいて被験者の体密度を求めることができ、この体密度に基づいて、体脂肪率や体水分量を求めることができる。それ故、求められた体水分量と、細胞外液抵抗と細胞内液抵抗とのうちどちらか一方との差を求めることにより、他方を求めることもできる。また、インピーダンス軌跡算出サブプログラムにより、最小二乗法の演算手法を駆使して、インピーダンス軌跡を求め、求められた軌跡から、周波数0時及び無限大時の生体電気インピーダンスを求め、求められた生体電気インピーダンスに基づいて、細胞外液抵抗及び細胞内液抵抗を算出するので、高周波投入時の浮遊容量や外来ノイズの影響を回避でき、また、人体への直流の直接投入を回避できる。それ故、測定精度が向上する。また、体水分分布測定モードにおいて、細胞外液量－除脂肪重量比、細胞内液量－除脂肪重量比、体液量－除脂肪重量比の現在の値が、表示器9においてトレンド表示され、かつ、被験者の現在の細胞外液量、細胞内液量、体液量の正常状態からの差が表示されるので、例えば、透析の際に除水量を、細胞外液、細胞内液のそれぞれについて、最適に制御することができる。また、この際、被験者の体格の差異の影響を補正する必要はない。

【0106】以上、この発明の実施例を図面により詳述してきたが、具体的な構成はこの実施例に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計の変更等があってもこの発明に含まれる。例えば、各種身体組成推計式の回帰係数等の数値は、上述の実施例のものに限定されない。すなわち、所定の範囲内での数値の変動や精度上の有効桁数の変動等は許容される。また、上述の実施例では、4個の表面電極 H_c 、 H_p 、 L_c 、 L_p のうち、2個の表面電極 H_c 、 H_p を被験者Eの手甲部 H_a に、残り2個の表面電極 L_c 、 L_p を被験者Eの足甲部 L_e に、貼り付けるようにしたが、これに限らず、例えば、4個とも片足に取り付けるようにしても良い。また、測定信号(電流) I_a の周波数範囲は、1k

Hz～400kHzに限定されない。同様に、周波数の数も複数である限り任意である。また、生体電気インピーダンスを算出する代わりに、生体電気アドミタンスを算出するようにしても良く、これに伴い、インピーダンス軌跡を算出する代わりに、アドミタンス軌跡を算出するようにしても良い。また、上述の実施例では、最小二乗法によるカーブフィッティングの手法を用いて、周波数0時及び無限大時の生体電気インピーダンスを求めるようにしたが、これに限らず、浮遊容量や外来ノイズの影響を他の手段により回避できる場合には、例えば、2周波数(5kHz以下の低周波と、200kHz以上の高周波)の測定信号を生成して被験者に投入し、被験者の体の低周波時の生体電気インピーダンスを周波数0時の生体電気インピーダンスとみなすと共に、被験者の体の高周波時の生体電気インピーダンスを周波数無限大時の生体電気インピーダンスとみなすようにしても良い。また、表示器9のトレンドグラフ上に、正常細胞外液量－除脂肪重量比、正常細胞内液量－除脂肪重量比及び正常体液量－除脂肪重量比を時間的に一定の直線(水平線)として表示されるようにしても良い。また、上述の実施例では、1つの画面上に、細胞外液量－除脂肪重量比、細胞内液量－除脂肪重量比及び体液量－除脂肪重量比をまとめて表示させたが、切替操作によって別々に表示させるようにしても良い。また、表示器9のトレンドグラフを折れ線グラフに代えて棒グラフとしても良い。また、出力装置は、表示器に限らず、プリンタを用いても良い。

【0107】また、上述の第1実施例及び第2実施例においては、体水分量 TBW を、細胞外液量 V_e 及び細胞内液量 V_i の和として算出し、また、上述の第3実施例においては、体水分量 TBW を、まず、体密度 D_b を求めてから、所定の手順に従って算出したが、この体水分量 TBW を、別の方法によって直接算出するようにしても良い。例えば、多数の被験者について、分布体積法等により体水分量 TBW を測定し、同時に生体電気インピーダンス法により細胞外液抵抗 $1/Y_e$ 及び細胞内液抵抗 $1/Y_i$ を測定し、体水分量 TBW を細胞外液抵抗 $1/Y_e$ 及び細胞内液抵抗 $1/Y_i$ で重回帰分析することによって、式(15)に対応する身体組成推計式を求め、この身体組成推計式に従って体水分量 TBW を算出するようにしても良い。この場合は、例えば、細胞内液量 V_i は、体水分量 TBW と細胞外液量 V_e との差として算出するようにしても良い。それ故、細胞内液抵抗 $1/Y_i$ を求める必要はないので、周波数0時の生体電気インピーダンスのみ測定すれば足りる。また、これに伴い、例えば、測定信号 I_a の周波数を、1kHz～100kHzの範囲で変化させ、BPF62、72を、略1kHz～200kHzの帯域の電圧信号のみを通すように設定するようにしても良い。また、各種身体組成推計式を、例えば、被験者の年齢や性別等を加味した推計式として

も良い。

【0108】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1、2、3又は4記載の発明は、生体電気インピーダンス測定手段が、マルチ周波のプロープ電流を生成し、生成した各周波のプロープ電流を被験者の体に投入して被験者の体の電気インピーダンスを測定し、測定された被験者の体の電気インピーダンスに基づいて、抵抗算出手段が、被験者の生体組織の細胞外液抵抗や細胞内液抵抗を求め、求められた細胞外液抵抗や細胞内液抵抗に基づいて、体液推計手段が、被験者の細胞外液量等の体水分分布を推計する構成としたので、生体の抵抗を細胞外液抵抗と細胞内液抵抗とに分けて求めることができ、しかも、細胞膜の容量成分を含まない状態で正確に求めることができる。この正確な算出結果に基づいて、体水分分布（細胞外液量、細胞内液量、体液量）についての推計が行われるので、一段と実情に近い推計値を簡便に得ることができる。

【0109】同様に、請求項5記載の発明によれば、脂肪重量について、また、請求項6記載の発明によれば、除脂肪重量について、また、請求項7記載の発明によれば、体密度について、また、請求項8記載の発明によれば、ヘマトクリット値について、それぞれ、一段と実情に近い推計値を簡便に得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1実施例である身体組成推計装置の電氣的構成を示すブロック図である。

【図2】同身体組成推計装置の使用状態を模式的に示す模式図である。

【図3】人体のインピーダンス軌跡を示す図である。

【図4】組織内細胞の電氣的等価回路図である。

【図5】周波数無限大時の組織内細胞の電氣的等価回路図である。

【図6】同身体組成推計装置の動作処理手順を示すフローチャートである。

【図7】同身体組成推計装置における表示器の表示例を示す図である。

【図8】同身体組成推計装置の動作を説明するためのタイミングチャートである。

【図9】同身体組成推計装置における表示器の別の表示例を示す図である。

【図10】この発明の第2実施例である身体組成推計装置の動作処理手順を示すフローチャートである。

【図11】この発明の第3実施例である身体組成推計装置の動作処理手順を示すフローチャートである。

【図12】細胞外液量、細胞内液量を推計するための身体組成推計式の導出方法を説明するための説明図である。

【図13】除脂肪重量を推計するための身体組成推計式の導出方法を説明するための特性図である。

【図14】ヘマトクリット値を推計するための身体組成推計式の導出方法を説明するための説明図である。

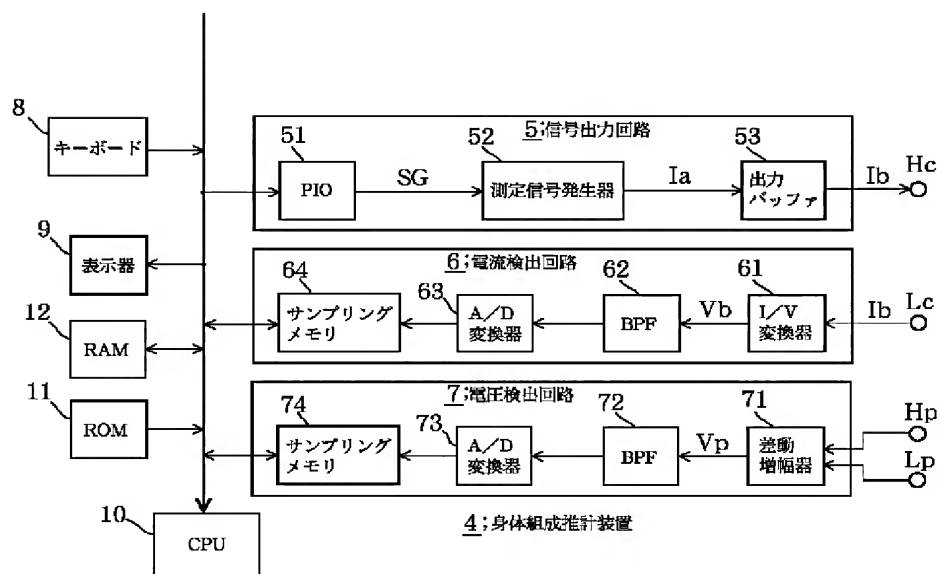
【図15】人体の組織内細胞を模式的に示す模式図である。

【図16】組織内細胞の電氣的等価回路図である。

【符号の説明】

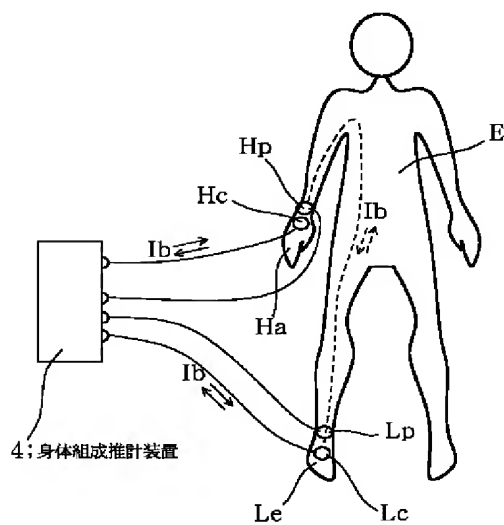
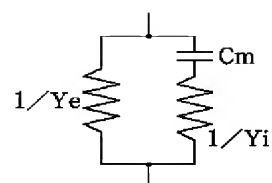
4	体液測定装置
5	信号出力回路（生体電気インピーダンス算出手段の一部）
52	測定信号発生器
53	出力バッファ
6	電圧検出回路（生体電気インピーダンス算出手段の一部）
61	I/V変換器
62	BPF
63	A/D変換器
64	サンプリングメモリ
7	電圧検出回路（生体電気インピーダンス算出手段の一部）
71	差動増幅器
72	BPF
73	A/D変換器
74	サンプリングメモリ
8	キーボード（人体特徴データ入力手段）
10	CPU（生体電気インピーダンス算出手段、抵抗算出手段、体液推計手段）
11	ROM
12	RAM
Hc, Hp, Lc, Lp	表面電極
E	被験者の体
Ha	被験者の手甲部
Le	被験者の足甲部
Ia	測定信号
Ib	マルチ周波数電流（マルチ周波のプロープ電流）
Vp	被験者の手足間の電圧

【図 1】

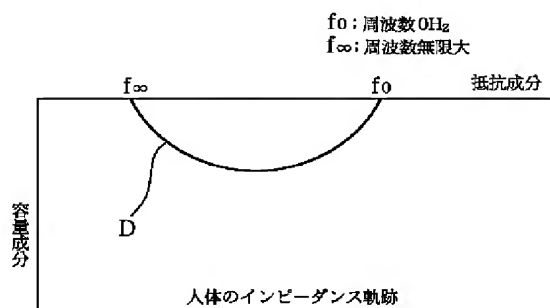


【図 2】

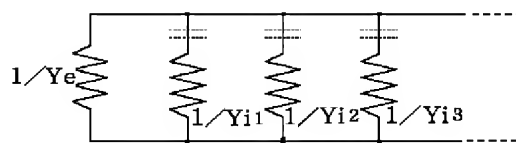
【図 3】



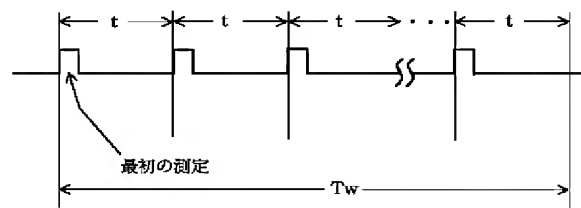
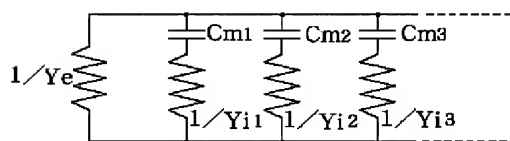
【図 4】



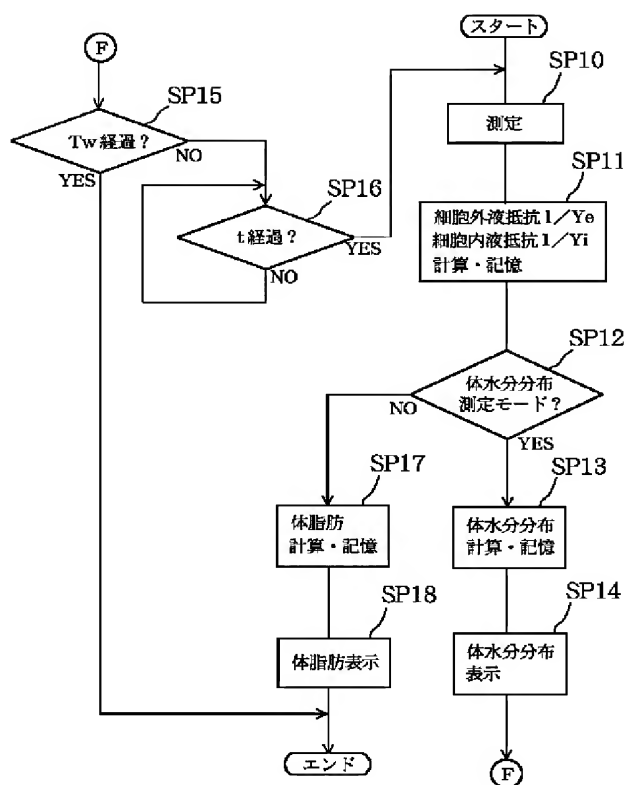
【図 5】



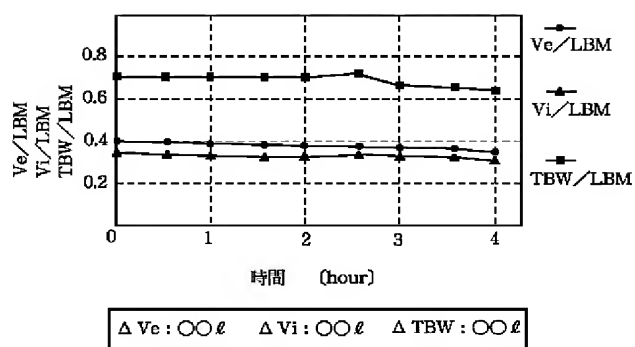
【図 8】



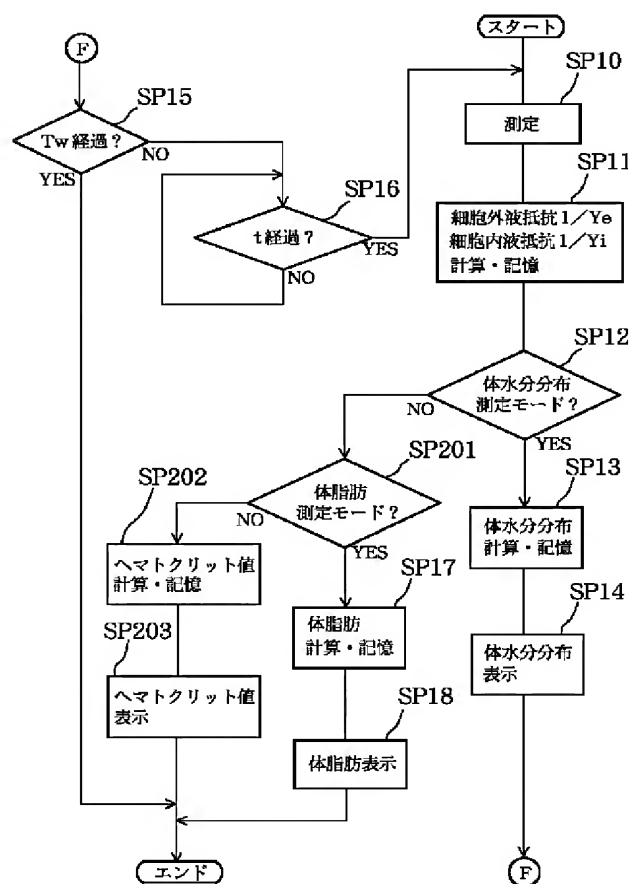
【図6】



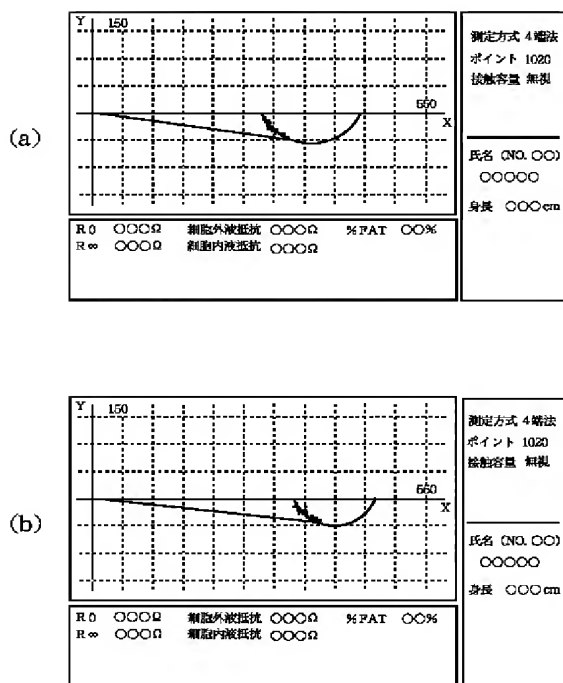
【図7】



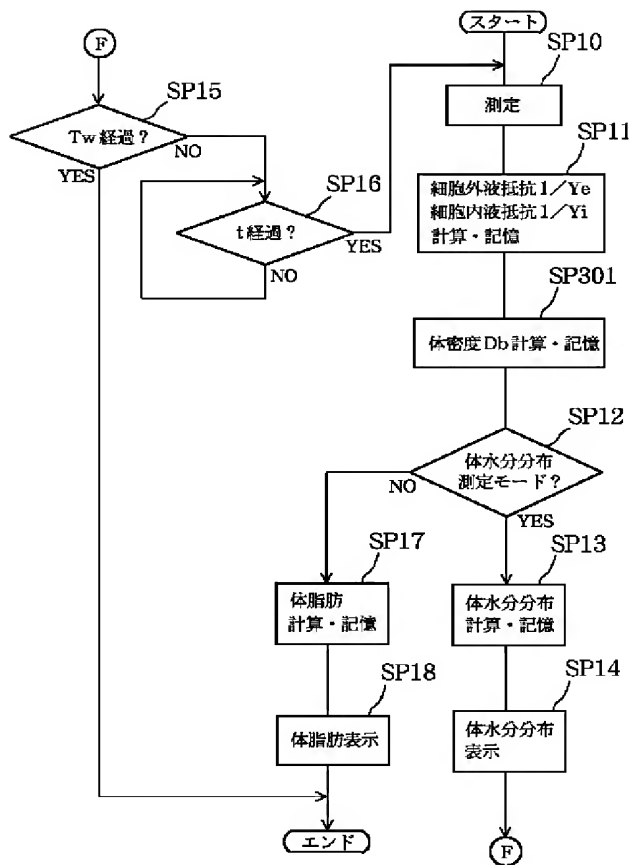
【図10】



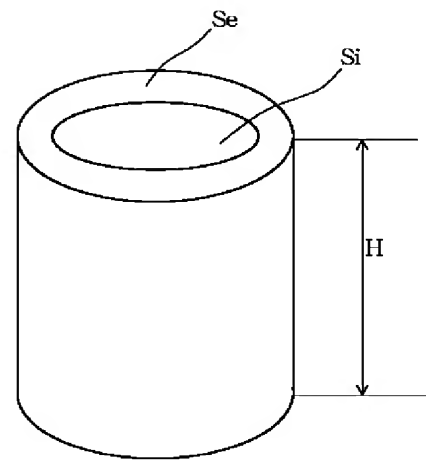
【図9】



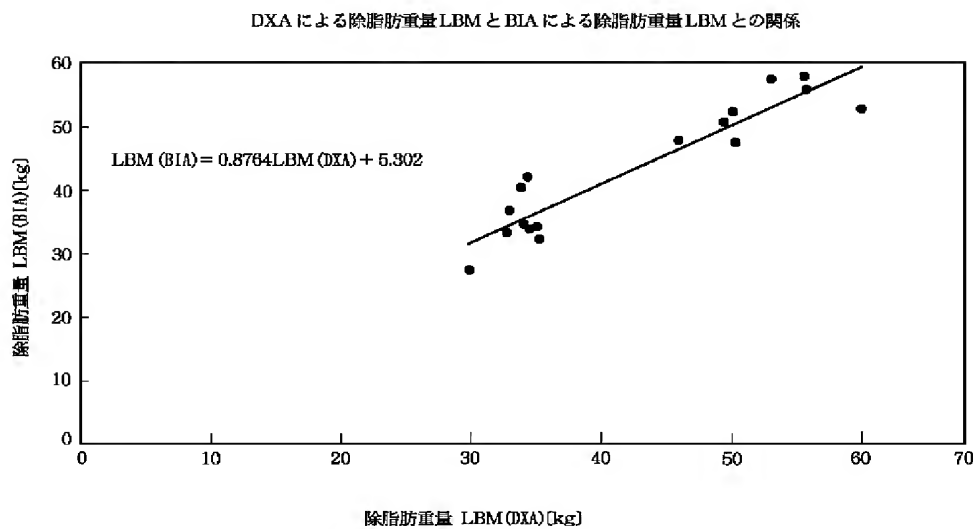
【図11】



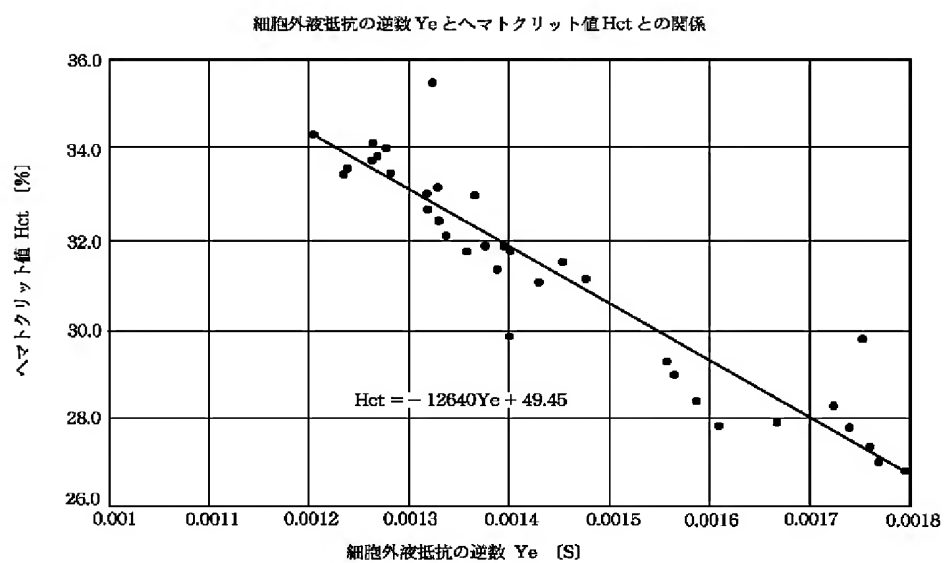
【図12】



【図13】



【図 1 4】



【図 1 5】

